

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа	Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки	21.04.01. Нефтегазовое дело
Отделение школы (НОЦ)	Нефтегазового дела

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Повышение эффективности контроля сварных соединений магистрального трубопровода рентгенографическим оборудованием, перемещаемым транспортными системами на основе механизма с промежуточной опорной поверхностью

УДК 621.791.053:620.179.152.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ84	Колесников Сергей Иванович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Симанкин Федор Аркадьевич	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Романюк Вера Борисовна	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Манабаев Кайрат Камитович	к.ф.-м.н., доцент		

Томск – 2020 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»		
P1	Применять базовые естественнонаучные, социально-экономические, правовые и специальные знания в области нефтегазового дела, для решения прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем, соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики), самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	УК-1, УК-2, УК-4, УК-5, УК-6, ОПК-1.0ПК-2, ЕАС-4.2, АВЕТ-3А, АВЕТ-3i, критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 40.083 Профессиональный стандарт "Специалист по компьютерному проектированию технологических процессов" (утвержден приказом Минтруда России от 26.12.2014 № 1158н), 19.003 Профессиональный стандарт "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 21.11.2014 № 927н); 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования" (утвержден приказом
P2	Решать профессиональные инженерные задачи на основе информационной и библиографической культуры с применением информационнокоммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности.	УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, УК-8, ОПК-2, ОПК-6, ОПК-7, ПК-2, ПК-4 критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 40.083 Профессиональный стандарт "Специалист по компьютерному проектированию технологических процессов" (утвержден приказом Минтруда России от 26.12.2014 № 1158н), 19.003 Профессиональный стандарт "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 21.11.2014 № 927н); 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 26.04.2014 № 1175н).

в области производственно-технологической деятельности		
РЗ	Применять процессный подход в практической деятельности, сочетать теорию и практику при эксплуатации и обслуживании технологического оборудования нефтегазовых объектов.	УК-1, УК-2, УК-3, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-5, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 40.083 17 Профессиональный стандарт "Специалист по компьютерному проектированию технологических процессов" (утвержден приказом Минтруда России от 26.12.2014 № 1158н), 19.003 Профессиональный стандарт "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 21.11.2014 № 927н); 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 26.04.2014 № 1175н).
Р4	Оценивать риски и определять меры по обеспечению безопасности технологических процессов в практической деятельности и применять принципы рационального использования природных ресурсов и защиты окружающей среды в нефтегазовом производстве.	УК-1, УК-2, ОПК-6, ПК-1, ПК-3, ПК-4, ПК-5, критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: 40.083 Профессиональный стандарт "Специалист по компьютерному проектированию технологических процессов" (утвержден приказом Минтруда России от 26.12.2014 № 1158н), 19.003 Профессиональный стандарт "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 21.11.2014 № 927н); 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 26.04.2014 № 1175н).
в области организационно-управленческой деятельности		
Р5	Эффективно работать индивидуально и в коллективе по междисциплинарной тематике, организовывать работу первичных	УК-3, УК-6, ОПК-3, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4

	производственных подразделений, используя принципы менеджмента и управления персоналом и обеспечивая корпоративные интересы.	
P6	Участвовать в разработке организационно-технической документации и выполнять задания в области сертификации нефтегазопромыслового оборудования	УК-2, УК-6, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-5, ПК-1, ПК-2, ПК-4, требования профессиональных стандартов: 40.083 Профессиональный стандарт "Специалист по компьютерному проектированию технологических процессов" (утвержден приказом Минтруда России от 26.12.2014 № 1158н), 19.003 Профессиональный стандарт "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 21.11.2014 № 927н); 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования" (утвержден приказом Минтруда России от 26.04.2014 № 1175н).
в области экспериментально-исследовательской деятельности		
P7	Получать, систематизировать необходимые данные и проводить эксперименты с использованием современных методов моделирования и компьютерных технологий для решения расчетно-аналитических задач в области нефтегазового дела.	УК-1, УК-2, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-5
в области проектной деятельности		
P8	Использовать стандартные программные средства для составления проектной и рабочей и технологической документации объектов бурения нефтяных и газовых скважин, добычи, сбора, подготовки, транспорта и хранения углеводородов	УК-2, ОПК-3, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4
Профиль «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»		
P9	Планировать и организовывать работу по проведению планово-предупредительных ремонтов установок, технического обслуживания и ремонта оборудования.	ОПК-3, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3ДК4, ПК-5, критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессионального стандарта 19.003 "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования", 19.013 Профессиональный стандарт

		"Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования "
P10	Планировать внедрение новой техники и передовых технологий, разрабатывать и реализовывать программы модернизации и технического перевооружения предприятия.	УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, ОПК-1, ОПК-4, ОПК5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессионального стандарта 19.003 "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования", 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования"
P11	Организовывать проведение проверок технического состояния и экспертизы промышленной безопасности, проводить оценку эксплуатационной надежности технологического оборудования.	УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, ОПК-1, ОПК-2, ОПК3 ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессионального стандарта 19.003 "Специалист по ремонту и обслуживанию нефтезаводского оборудования", 19.013 Профессиональный стандарт "Специалист по эксплуатации газотранспортного оборудования "

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа	Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки	21.04.01. Нефтегазовое дело
Отделение школы (НОЦ)	Нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись)

(Дата)

Манабаев К.К.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ84	Колесников Сергею Ивановичу

Тема работы:

Повышение эффективности контроля сварных соединений магистрального трубопровода рентгенографическим оборудованием, перемещаемым транспортными системами на основе механизма с промежуточной опорной	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является орбитально перемещающаяся каретка детекторного модуля на основание в виде пояса для неразрушающего контроля кольцевых сварных соединений магистральных трубопроводов.
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Создание модели каретки; оценка напряженно деформационного состояния каретки на поясе при схеме каретки с тремя и двумя площадками, а также на поясах различных диаметром.
Перечень графического материала	Презентация, выполненная в MS PowerPoint
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Руководитель по основной части магистерской диссертации	Доцент к.т.н. Симанкин Федор Аркадьевич
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Доцент, к.э.н., Романюк Вера Борисовна
«Социальная ответственность»	Ассистент, Черемискина Мария Сергеевна
Раздел выполненный на иностранном языке	Доцент, к.ф.н., Надеина Луиза Васильевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Литературный обзор	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель / консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Симанкин Фёдор Аркадьевич	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ84	Колесников Сергей Иванович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ84	Колесников Сергей Иванович

Школа	ИШПР	Отделение	ОНД
Уровень образования	Магистр	Направление	Нефтегазовое дело

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов исследования: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску. 2. Стоимость электроэнергии – 5,8 руб. кВт·ч – для юр. лиц.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Согласно российскому законодательству по оплате труда: 30% премии на заработную плату; 1,3 – районный коэффициент для г. Томска.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Общая система налогообложения с учетом льгот для образовательных учреждений (30% отчисления на социальные нужды).
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования; 2. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований; 3. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1. Расчет основной заработной платы исполнителей темы; 2. Расчет отчислений на социальные нужды; 3. Отчисление во внебюджетные фонды; 4. Расчет электроэнергии и прочих расходов; 5. Накладные ресурсы; 6. Формирование бюджета затрат исследовательского проекта.
3. Ресурсоэффективность	1. Определение интегрального показателя эффективности исследования; 2. Расчет показателей ресурсоэффективности.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей, в том числе таблиц):	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений. 2. Матрица SWOT. 3. Календарный график проведения исследования.	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Романюк Вера Борисовна	к.э.н. доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ84	Колесников Сергей Иванович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ84	Колесников Сергей Иванович

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление	21.04.01 «Нефтегазовое дело»

Тема ВКР:

Повышение эффективности контроля сварных соединений магистрального трубопровода рентгенографическим оборудованием, перемещаемым транспортными системами на основе механизма с промежуточной опорной.	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – самоходная каретка с промежуточной опорной поверхностью дефектоскопа. Область применения – неразрушающий контроль сварных соединений магистрального трубопровода методом рентгенографии.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	ГН 2.2.5.552-96. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. ГОСТ 12.2.003-91. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные и опасные факторы: - токсичные и вредные вещества; - повышенный уровень шума; - отклонение показателей микроклимата в рабочей зоне; - недостаточная освещенность рабочей зоны; - ионизирующее излучение - подвижные части производственного оборудования; - электрический ток;
3. Экологическая безопасность:	Воздействие на атмосферу: выброс перекачиваемого углеводородного сырья и иных загрязняющих веществ в результате образования сквозных отверстий, свищей в теле трубопровода. Воздействие на гидросферу: в процессе идентификации дефектов по результатам

	<p>диагностического обследования трубопроводов возможен выход скважинной продукции в грунтовые воды, либо водный объект, если авария произошла на подводном переходе. Воздействие на литосферу: отходы внутритрубных отложений, образовавшихся в результате очистки.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>Вероятные чрезвычайные ситуации:</p> <ul style="list-style-type: none"> - выход углеводородов; - природные чрезвычайные ситуации; - возгорание углеводородов. <p>Наиболее вероятное чрезвычайное ситуация: возгорание углеводородов.</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ84	Колесников Сергей Иванович		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки: 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Отделение нефтегазового дела
 Уровень образования: магистратура
 Период выполнения: осенний/весенний семестр 2019/2020 учебного года

Форма представления работы

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2019
--	------------

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ84	Колесников Сергей Иванович		

Дата контроля	Название раздела(модуля)/вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
11.02.2020	Введение	5
18.02.2020	Обзор литературы	10
04.03.2020	Техническая диагностика трубопровода методами неразрушающего контроля	10
25.03.2020	Построение модели каретки	20
22.04.2020	Испытание на нагрузку и модернизация каретки в программном обеспечении SolidWorks	20
29.04.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
04.05.2020	Социальная ответственность	10
11.05.2020	Раздел, выполненный на иностранном языке	10
18.05.2020	Заключение	5

Составил руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Симанкин Фёдор Аркадьевич	к.т.н., доцент		

Согласовано:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОНД ИШПР	Манабаев Кайрат Камитович	к.ф.-м.н., доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 114 с., 44 рис., 15 табл., 42 источник, 1 прил.

Ключевые слова: техническая диагностика, неразрушающий контроль, магистральный трубопровод, кольцевой сварной шов, орбитальное перемещение, самоходный дефектоскоп, каретка детекторного модуля, напряженное деформированное состояние.

Объектом исследования является орбитально перемещающаяся каретка детекторного модуля самоходного дефектоскопа на основе промежуточной опорной поверхности для неразрушающего контроля кольцевых сварных соединений магистральных трубопроводов.

Цель работы – создание рекомендации по компоновке механизма орбитального перемещения с промежуточной опорной поверхностью, исследовав состояния механизма с промежуточной опорной поверхностью во время перемещения по опорной поверхности по трубопроводу.

В процессе исследования проводились построение модели каретки с последующей оценкой точек возможного напряжения и деформации к в зависимости от изменения различных геометрических параметров каретки.

В результате исследования получены сведения о приоритетной конфигурации конструкции для орбитального перемещения каретки по промежуточной опорной поверхности.

Область применения: контроль состояния сварных швов после ремонтно - восстановительных работ в нефтегазовой отрасли.

В будущем планируется создание опытного образца.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ

Сокращения:

НК – неразрушающий контроль;

ВИК – визуально-измерительный контроль;

УЗ – ультразвук;

УЗК – ультразвуковой контроль;

МКЭ – метод конечных элементов.

Нормативно-техническая документация:

ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения.

ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов.

ГОСТ 21105-87. Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод.

ГОСТ 24034-80. Контроль неразрушающий радиационный. Термины и определения.

ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод.

ГОСТ 23764-79. Гамма-дефектоскопы. Общие технические условия.

ГОСТ 18442-80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования.

ГОСТ Р 54907-2012. Техническое диагностирование. Основные положения.

ГОСТ Р 55724-2013. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые.

РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю.

РД 51-2-97. Инструкция по внутритрубной инспекции трубопроводных систем.

ГОСТ 12.2.003-74. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

ГОСТ 12.1.029-80. ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.

ГОСТ Р 12.1.019-2009. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	17
1 Обзор литературы.....	18
1.1 Дефекты сварных соединений.....	19
1.2 Методы неразрушающего контроля	21
1.2.1 Визуально-измерительный контроль.....	22
1.2.2 Метод течеискания	22
1.2.3 Магнитный метод	24
1.2.4 Капиллярный метод.....	26
1.2.5 Ультразвуковой метод	28
1.2.5 Радиографический метод	30
2 Транспортные системы	40
3 Расчетно-конструкторская часть	44
3.1 Построение модели	45
3.1.1 Каретка с двумя площадками	45
3.1.2 Каретка с тремя площадками	48
3.2 Расчет напряженно-деформационного состояния каретки	49
3.2.1 Каретка с двумя площадками, детектором на поясе 1040 миллиметров	50
3.2.2 Каретка с двумя площадками, источником излучения на поясе 1040 миллиметров.....	52
3.2.3 Каретка с двумя площадками, детектором на поясе 1440 миллиметров	53
3.2.4 Каретка с двумя площадками, источником излучения на поясе 1440 миллиметров.....	53
3.2.5 Каретка с тремя площадками, детектором на поясе 1040 миллиметров.....	54
3.2.6 Каретка с тремя площадками, источником излучения на поясе 1040 миллиметров.....	55
3.2.7 Каретка с тремя площадками, детектором на поясе 1440 миллиметров.....	56
3.2.8 Каретка с тремя площадками, источником излучения на поясе 1440 миллиметров.....	56
3.3 Анализ результатов	57
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	59
4.1 Оценка коммерческого потенциала	60
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	60
4.1.2 SWOT-анализ	62
4.2 Планирование исследовательских работ.....	64
4.2.1 Структура работ в рамках исследования.....	64
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	65
4.2.3 Разработка графика проведения исследования	66
4.3 Бюджет исследования	69
4.3.1 Расчет материальных затрат исследования.....	69
4.3.2 Основная заработная плата исполнителей.....	70

4.3.3	Дополнительная заработная плата исполнителей темы	72
4.3.4	Отчисления во внебюджетные фонды.....	72
4.3.5	Формирование бюджета затрат исследования.....	73
4.4	Определение ресурсоэффективности проекта.....	74
5	Социальная ответственность.....	76
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	77
5.2	Производственная безопасность	78
5.2.1	Анализ вредных производственных факторов и мероприятия по их устранению ..	79
5.2.2	Анализ опасных производственных факторов и мероприятия по их устранению ..	86
5.3	Экологическая безопасность	88
5.3.1	Воздействия объекта на атмосферу	88
5.3.2	Воздействия объекта на гидросферу	88
5.3.3	Воздействия объекта на литосферу	89
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	89
5.4.1	Чрезвычайные ситуации техногенного характера	89
5.4.2	Чрезвычайные ситуации природного характера	90
	Заключение	92
	Список используемых источников	93
	Приложение А	97

ВВЕДЕНИЕ

Нефтегазовая промышленность – базовая отрасль Российской экономики. По мере развития нефтяной промышленности возросла потребность в транспорте больших объемов нефти и продуктов. Магистральные трубопроводы имеют большое значение в транспорте нефти и других углеводородов в различных климатических условиях. Вопрос экономически эффективного и экологически безопасного производства транспорта углеводородов во многом зависит от качества сварных соединений трубопровода.

Экономический ущерб предприятия от аварий с разливом нефти включает не только дополнительные затраты на покупку продукта для его восполнения, но и затраты, связанные с рекультивации загрязненных земель. Как известно с практической точки зрения, транспорт нефти является сложнейшей производственной задачей, включающее создание условий для долгосрочной безаварийной эксплуатации трубопровода. В настоящее время особое внимание уделяется первичной качественной диагностики, в том числе кольцевых сварных швов, для предупреждения возможных аварий.

За период с 2000 года основные компании по транспорту углеводородов ввели в эксплуатацию более 40 тысяч километров магистральных трубопроводов. Что по грубой оценке дает 170 тысяч кольцевых сварных соединений в год. Для проведения работ необходимо качественное оборудование, одной из важнейших характеристик которого является мобильность и автономность, которая в большей степени зависит от веса конструкции и простоты механизма. Один из современных способов реализуется на основе каретки орбитального перемещения диагностического оборудования. Проектирование оборудования с расчетом напряженно-деформированного состояния позволяет выявить места повышенной и минимальной напряженности, что позволяет уменьшение веса без потери надежности и улучшить потребительские качества [1].

1 Обзор литературы

Для выявления тенденций в области дефектоскопии сварных швов целесообразно ознакомиться с существующими методами неразрушающего контроля и используемых в них типах оборудования, что позволит целесообразность и применимость использования тех или иных технических решений.

Техническая диагностика сварных соединения производится в виде первичного контроля при вводе в эксплуатацию вновь построенных объектов, а также для эксплуатируемых трубопроводов при ремонте или подтверждение остаточного срока эксплуатации.

Целью технической диагностики являются повышение экономической эффективности, промышленной и экологической безопасности. Задачами, решаемыми для достижения цели, являются:

1. Установление наличия дефектов и несоответствий, а также причин их появления и определение состояния технологического оборудования;
2. Прогноз касательно будущего технического состояния и остаточного ресурса трубопровода [2].

1.1 Дефекты сварных соединений

Дефекты сварных соединений различаются в зависимости от месторасположения и причин возникновения. В зависимости от причин возникновения их можно разделить на две группы. К первой группе относят дефекты в структуре и тепловые дефекты, возникающие при процессе производства и остывания сварного соединения: трещины в зоне термического воздействия и непосредственно в теле шва, включения шлаковые, изменения механических характеристик металла шва и околошовной зоны. Ко второй группе дефектов, которые называют дефектами формирования швов, относят дефекты, возникновение которых связано в основном с несовершенством технологии сварки и подготовки, а также некачественным входным контролем, неисправностью оборудования, низкой квалификацией сварщика. К дефектам данной группы относят прожоги, непровары, подрезы, наплывы и не правильные геометрические размеры шва

Дефекты по месту расположения подразделяются на внешние и внутренние. К внешним относятся: нарушение необходимых размеров, формы шва, непровар, подрез зоны сплавления, поверхностное окисление, прожог, наплыв, поверхностные поры, незаваренные кратеры и трещины на поверхности шва. К внутренним дефектам относятся следующие: внутренние поры, неметаллические включения, непровар и внутренние трещины. Виды дефектов приведены на рисунке 1. Дефектами формы и размеров сварных швов являются их неполномерность, неравномерные ширина и высота, бугристость, седловины, перетяжки и т.п [3].

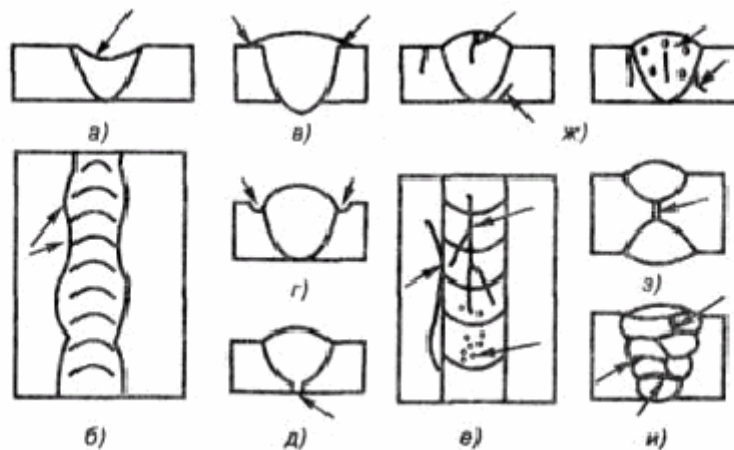


Рисунок 1 – Виды дефектов сварных швов: а – ослабление шва, б – неравномерность ширины, в – наплыв; г – подрез, д – непровар, е – трещины и поры, ж – внутренние трещины и поры, з – внутренний непровар, шлаковые включения.

Наплывы – представляют собой отдельно застывшие капли металла на поверхности трубы или значительно протяженные вдоль шва натекания жидкого металла на холодную поверхность без сплавления. Чаще всего наплывы образуются при выполнении горизонтальных сварных швов на вертикальной плоскости. В местах наплывов часто выявляются непровары, трещины.

Подрезы представляют собой продолговатые углубления (канавки), образовавшиеся в основном металле вдоль края шва. Они возникают в результате большого сварочного тока и длинной дуги. Подрезы приводят к уменьшению сечения сварного шва и повышению концентрации напряжений.

Прожоги – сквозное отверстие, вызванное вытеканием части металла из шва.

Непровар – место несплавления основного металла или несплавление между собой отдельных слоев сварке. Уменьшают сечение шва, вызывают повышенную концентрацию напряжений.

Трещины по своим размерам трещины бывают макро- и микроскопическими. Могут иметь продольное и поперечное расположение относительно шва, располагаться в шве или околошовной зоне.

Шлаковые включения возникаю при некачественной очистке поверхностей от оксидов и загрязнений. Являются концентраторами напряжений и уменьшаю сечение шва.

Неметаллические включения возникают вследствие малого тока сварки, недоброкачественных электродов, загрязненных кромок и плохой очистке шва от шлака. При неправильно режиме сварки оксиды остаются в металле шва в виде неметаллических включений.

Газовые поры возникают в сварных швах при неполном выходе газов в процессе кристаллизации из металла шва. Поры могут располагаться в шве отдельными группами или единой пустотой. В некоторых случаях они выходят на поверхность шва в виде воронкообразных углублений, образуя свищи. Поры также ослабляют сечение шва и его прочность, могут иметь поверхностное, внутреннее или сквозное расположение. Пористость часто является результатом плохой подготовки свариваемых кромок, применения электродов с сырым покрытием, влажного флюса, больших скоростей сварки [4].

1.2 Методы неразрушающего контроля

Под контролем качества сварки подразумеваются проверка условий и порядка выполнения сварочных работ, а также определение качества выполненных сварных соединений в соответствии с техническими требованиями. В сварочном производстве применяют следующие виды контроля: входной, текущий и выходной сварных швов.

Цель входного контроля – проверка входных параметров трубопровода и их документацию. Текущий контроль осуществляется непосредственно в процессе производства сварочных работ. Приемочный или выходной контроль, производимый во время во время окончательной прием шва в работу.

При выходном контроле применяются неразрушающие методы контроля качества сварных соединений, что позволяет выявить возможные

дефекты как внешние, как и внутреннее и значительно повысить будущую надежность трубопровода [5].

Все неразрушающие физические методы дефектоскопии согласно ГОСТ 18353-73 подразделяют на 10 основных видов, но применяются на практике в основном 6 видов:

- радиационный;
- акустический (ультразвуковой);
- капиллярный;
- магнитный;
- течеисканием;
- визуальный и измерительный.

Далее рассмотрим основные виды контроля [6].

1.2.1 Визуально-измерительный контроль

Наиболее универсальным методом неразрушающего контроля, который применяется практически всех этапах изготовления изделий с помощью визуального осмотра и замера геометрических параметров изделий и сварного соединения.

Визуально-измерительный контроль труб и сварных соединений производится на следующих стадиях:

- входной контроль;
- установка труб под сварку;
- после ремонта;
- оценки состояния материала и сварных соединений в процессе эксплуатации трубопровода, в том числе по истечении установленного срока их эксплуатации [7].

1.2.2 Метод течеискания

К сварным соединениям трубопроводного транспорта предъявляются требования по непроницаемости для жидкости и газа, то есть надежности

свариваемой конструкции, герметичностью. Неплотности сварных соединений могут приводить к утечке вещества – течи.

Течь – это сквозной дефект в сварном соединении, размер которого позволяет выйти продукту наружу. Сквозных дефектов подразделяются на первичные и вторичные дефекты. Первичные, это дефекты, образованные при формировании сварного шва, к ним относятся свищи – сквозные поры, удлиненные по типу каналов, горячие трещины и непровары со шлаковыми включениями. Вторичные же дефекты – это те, которые появляются через какое-то время после сварки – усталостные и холодные трещины [8].

Методика течеискания основана создание контраста за счет пробного и контрольного вещества, возникающего в месте течи. Минимальный диаметр выявляемых каналов в миллиметрах определяем степень чувствительности метода.

В качестве пробного вещества в различных методах применяют различные газы или жидкости. В качестве газов используют: воздух, азот, гелий, галоиды, аммиак, углекислый газ или смеси этих газов. Контрольными жидкостями являются: вода, керосин, растворы, пенетранты и другие. Все методы течеискания и их пороговая чувствительность приведены в таблице 1. На практике чаще всего используется воздух, вода, керосин, в редких случаях радиационный метод.

Таблица 1 – Методы течеискания и их чувствительность

№пп	Метод	Пробное вещество	Способ индикации	Диаметр канала, мм
1	Гидравлический	Вода	Течь, пятна на бумаге	$1 \cdot 10^{-3}$
2	Люмогидравлический	Светящиеся жидкость	Течь и свечение	$3 \cdot 10^{-5}$
3	Керосиновый	Керосин	Пятна на меловом фоне	$3 \cdot 10^{-5}$
4	Пневматический	Воздух, азот	Пузырьки газа в пенообразователе или жидкости	$7 \cdot 10^{-4}$

№пп	Метод	Пробное вещество	Способ индикации	Диаметр канала, мм
5	Пневмогидравлический	Воздух, азот	Пузырьки газа в пенообразователе или жидкости	$7 \cdot 10^{-4}$
6	Вакуумный	Воздух, азот	Пузырьки газа в пенообразователе или жидкости	$6 \cdot 10^{-5}$
7	Манометрический	Жидкость или газ	Падение давления	$6 \cdot 10^{-5}$
8	Химический	Жидкость или газ	Контрастные пятна	$1 \cdot 10^{-5}$
9	Радиационный	Жидкость или газ с добавлением радиовещества	Измерение излучения	$5 \cdot 10^{-7}$
10	Галогенный	Галойды	Повышение концентрации	$3 \cdot 10^{-5}$
11	Катарометрический	Газы	Повышение концентрации	$6 \cdot 10^{-5}$
12	Массспектрометрический	Гелий	Повышение концентрации	$5 \cdot 10^{-7}$

Чаще всего метод применяется на практике при выявление дефектов на уже работающем трубопроводе. Однако не позволяет выявить несквозные дефекты [9].

1.2.3 Магнитный метод

Метод неразрушающего контроля, основанный на регистрации изменения взаимодействия контролируемого объекта и электромагнитным полем называется магнитным. Для целей метода используется обширный спектр электромагнитных полей, от постоянного электрического и магнитного полей до переменных полей с частотой в десятки МГц.

При помощи данного метода определяют поверхностные и подповерхностные дефекты сварных соединений, к числу которых относятся несплошности на глубине до 10 мм – непровары, трещины, газовые поры, шлаковые включения.

Информацию о наличии дефектов получают посредством регистрации и анализа, магнитных полей рассеяния, возникающих над местами расположения дефектов.

Возможность применения магнитных методов контроля ферромагнитных материалов основана на их свойствах. В обычном состоянии в изделии из ферромагнитного материала как бы находятся расположенные различным образом самопроизвольно намагниченные области - домены, поля которых в этом случае компенсируют друг друга и результирующее магнитное поле изделия равно нулю. Под влиянием магнитного поля домены ориентируются в направлении этого поля, суммируются и деталь намагничивается. На рисунке 2 изображена петля гистерезиса, которая характеризует процесс намагничивания.

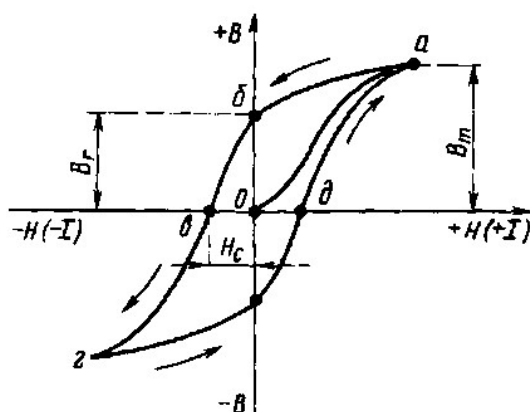


Рисунок 2 - Петля гистерезиса

Магнитный поток в теле ферромагнитного материала распространяется равномерно по сечению, в том случае если материал имеет сплошную структуру и его магнитная проницаемость постоянна.

Сплошность материала нарушается в тех местах, где локализуются дефекты. Сопротивление, оказываемое магнитному потоку со стороны среды с дефектами, во много раз больше, поэтому поток отклоняется и словно обтекает дефект. В этом месте магнитное поле сгущается и частично выходит за пределы изделий, распространяется по воздуху, а затем входит обратно в изделие за дефектом. Данное явление изображено на рисунке 3.

В тех местах, откуда выходит магнитный поток и куда он входит, образуются магнитные полюса, которые к тому же остаются и после снятия намагничивающего поля за счет остаточной намагниченности.

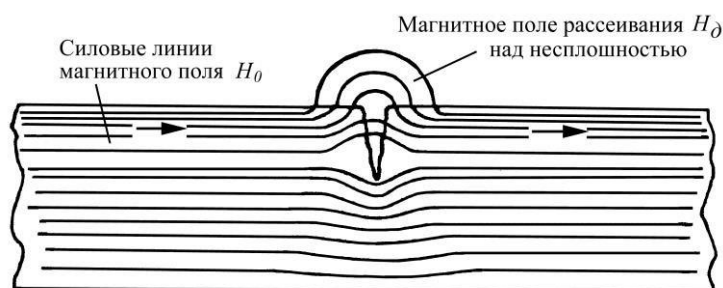


Рисунок 3 - Силовые линии в объекте с дефектом

Магнитное поле, возникающее над дефектом, называется полем рассеяния. Если дефект расположен перпендикулярно направлению магнитного потока, то эффект рассеяния проявляется максимально. Поэтому контролируемые сварные соединения намагничивают и в продольном, и в поперечном направлении относительно оси шва. Такой подход позволяет выявить дефекты, расположенные как вдоль, так и поперек шва, а также расположенные под небольшим углом к нему.

Таким образом, контроль магнитными методами заключается в обнаружении полей рассеяния, образуемых дефектами, расшифровке характера и величины выявленных дефектов. Магнитные методы контроля классифицируются по регистрирующим способам, которых насчитывается более шести: магнитопорошковый, магнитографический, магнитоферрозондовый, индукционный и магнитополупроводниковый. Распространение в области неразрушающего контроля сварных соединений нашли наибольшее применение только два метода: магнитопорошковый, магнитографический [10].

1.2.4 Капиллярный метод

Для выявления поверхностных дефектов вроде микротрещин и трещин применяют капиллярный метод контроля. Такие дефекты выходят на поверхность изделия, к ним также относятся узкие непровары и мелкие

поверхностные поры, которые сложно обнаружить во время внешнего осмотра.

В особенности данный метод неразрушающего контроля важен для выявления дефектов в ответственных сварных соединениях из жаропрочных, аустенитных нержавеющей и жаростойких сталей, алюминия, латуни, свойствами которых ограничены возможности использования других методов.

Поверхностные дефекты, имеющие размеры микроскопического раскрытия и микроскопической протяженности (с соотношением не более 1:10) имеют свойства капилляров. В соответствии с этим, и метод, с помощью которого обнаруживают такие дефекты, называют капиллярным.

В основе капиллярного метода используется жидкость текучесть которой позволяет проникать в поры и каналы участка металла. После проникновения индикаторной жидкости получают индикаторные следы в основном визуальным способом [11].

Метод позволяет выявлять дефекты имеющие исключительно сплошное или поверхностное расположения, с определением их их протяженности, ориентации и расположения на поверхности (для дефектов типа трещин, имеющих протяженность).

При помощи изменения контрастностей фона и изображения поверхностных дефектов и происходит выявление дефектов. Для этого используются специальные светоконтрастные и цветоконтрастные индикаторные жидкости – пенетранты.

На предварительно очищенную поверхность от загрязнений наносят пенетрант, затем некоторое время выдерживают для того чтобы дать жидкости заполнить полость дефекта. Далее удаляется избыток индикаторной жидкости и наносится проявляющий состав. Жидкость, которая осталась внутри дефекта, образует, со временем, на фоне проявителя рисунок, по которому в свою очередь и судят о наличии дефекта.

Основные этапы контроля капиллярным методом показаны на рисунке 4 [4].

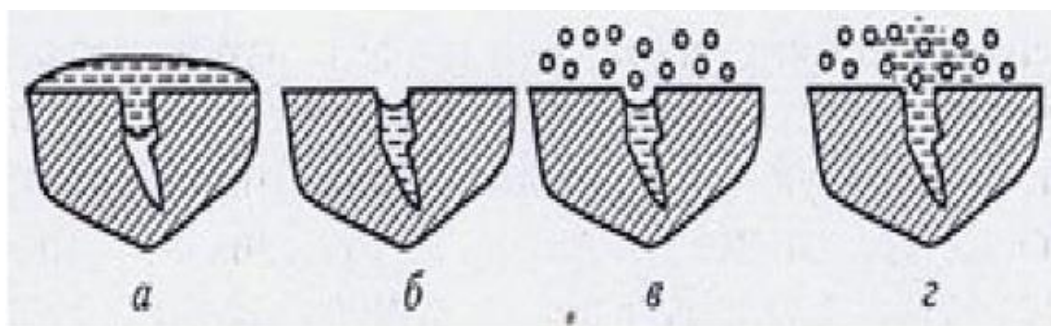


Рисунок 4 - Этапы капиллярного контроля: а – наносится индикаторная жидкость; б – удаляются ее излишки; в – наносится проявляющий состав; г – образующиеся пятна свидетельствуют о дефектах.

1.2.5 Ультразвуковой метод

Одним из наиболее широко распространенных методов выявления внутренних дефектов сварных швов является УЗК. Этот метод основан на возможности ультразвуковых волн проникать в материалы, отражаться и преломляться во время попадания на границу раздела двух материалов с различной звукопроницаемостью.

При помощи ультразвука можно обнаружить внутренние макроскопические дефекты литья, поковок, сварки (трещины, раковины, шлаковые включения, газовые поры, непровары и т.д.).

Ультразвук – это упругие механические колебания частиц среды, частота которых располагается за пределами слышимого диапазона, т.е. от 20 кГц до 500 МГц [12].

Ультразвуковые волны могут быть получены механическим, термическим, пьезоэлектрическим и другими методами. В ультразвуковой дефектоскопии металлов и сварных соединений чаще используется пьезоэлектрический способ получения ультразвука.

Некоторые природные кристаллы, например, кварц, турмалин, сегнетова соль и другие обладают пьезоэлектрическим эффектом. Сущность пьезоэлектрического эффекта состоит в том, что если из этих кристаллов определенным образом вырезать пластинку, то при сжатии или растяжении этой пластинки на ее поверхности появляется электрический заряд: на одной

стороне - положительный, на другой - отрицательный. Для равномерного распределения электрических зарядов по поверхности кристаллов их тщательно шлифуют, полируют и покрывают металлом.

Если на пьезопластину воздействуют упругие механические колебания (ультразвуковые волны), то на ее электродах возникает переменное электрическое напряжение с частотой действующих на нее ультразвуковых колебаний. Пьезоэффект обратим, т.е. если к пластине, вырезанной из кристалла, подвести переменное напряжение, то она начинает колебаться с частотой подводимого напряжения. Если частота подводимого напряжения выше 20 кГц, то пластинка, колеблясь, будет излучать УЗ волны, причем их направление перпендикулярно поверхности, к которой подводится напряжение. В первом случае это называют прямым, а во втором - обратным пьезоэффектом. Природные кристаллы в УЗ дефектоскопии из-за сложности обработки заменяются искусственными, которые изготавливаются методом прессования и спекания, чаще всего из порошка титаната бария или цирконат титанита свинца [13].

Ультразвук распространяется в однородной среде в виде направленной волны, которая при больших частотах подчиняется законам светового луча, т.е. она отражается, преломляется на границе разнородных сред, испытывает влияние интерференции и дифракции.

Волны отражаются от дефекта только в том случае, если их длина соизмерима с дефектом или больше. В противном случае УЗ-волны огибают небольшую несплошность без существенного отражения. Следовательно, увеличение чувствительности метода требует применения волн возможно меньшей длины [14].

1.2.5 Радиографический метод

Радиационная дефектоскопия основана на просвечивании объектов ионизирующим излучением с последующей регистрацией и анализом прошедшего излучения различными детекторами. В структурную схему радиационного контроля входят три основных элемента:

- источник ионизирующего излучения;
- контролируемый объект (сварное соединение);
- детектор, регистрирующий дефектоскопическую информацию.

Структурная схема радиационного контроля проиллюстрирована на рисунке 5 [15].

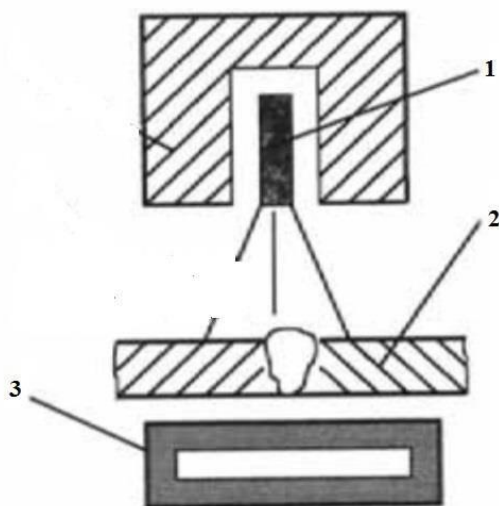


Рисунок 5 - Схема радиационного контроля: 1 – рентгеновский излучатель; 2 – объект контроля; 3 – детектор.

Проходя через вещество изделия, ионизирующее излучение ослабевает, это связано с поглощением и рассеиванием излучения в материале объекта. То насколько ослабнет излучение, зависит от плотности и толщины объекта контроля, а также от энергии самого излучателя. Интенсивность излучения при прохождении его через газовую пору ослабляется меньше, т.к. толщина изделия в этом месте меньше. При прохождении излучения, например, через вольфрамовое включение, возникшее при аргонодуговой сварке,

интенсивность его резко снижается. Другими словами, излучение, прошедшее за объект контроля несет в себе информацию о внутренней структуре просвеченного объекта, которая представлена в виде теневого радиационного изображения [16].

Схемы просвечивания

На рисунках 6-8 приведены основные схемы просвечивания сварных соединений (стыковых и угловых) нефтепроводов, технологических и вспомогательных трубопроводов. На рисунках используются следующие обозначения: Ии и Пс – источник излучения и принимающее устройство.

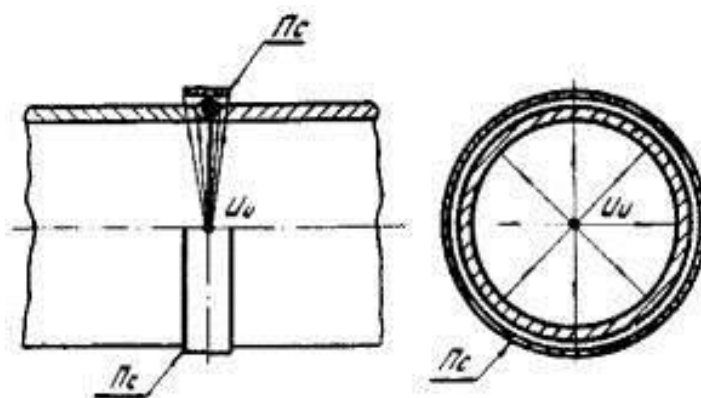


Рисунок 6 - Панорамная схема просвечивания

Кольцевые швы трубопроводов, переходов и трубных узлов (приварки тройников, отводов) просвечивают по одной из четырех схем в зависимости от геометрических размеров труб, типа и активности применяемого источника излучения.

Кольцевые сварные швы свариваемых изделий, в которых возможен свободный доступ внутрь, контролируют за одну установку излучения по схеме, представленной на рисунке 5 (панорамное просвечивание). В дальнейшем нас будет интересовать именно эта схема просвечивания, так как она более актуальна, для решаемых проблем отрасли, озвученных в данной дипломной работе. Для реализации контроля по схеме, показаном на рисунке 6, необходимо наличие возможности запуска кроулера с источником излучения, поэтому этот метод обычно применяется при строительстве трубопровода.

Сварные соединения трубопроводов, к которым по каким-либо причинам невозможен доступ с внутренней части, контролируется по схеме, представленной на рисунке 7 (фронтальное просвечивание). Просвечивание таких швов осуществляется через две стенки трубы за три и более установки источника ионизирующего излучения.

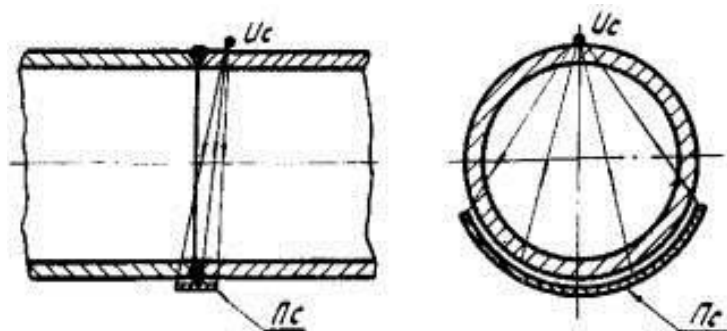


Рисунок 7 - Фронтальная схема просвечивания

Основные параметры просвечивания по схеме, представленной на рисунке 7:

- источник излучения располагается непосредственно на трубе,
- угол между направлением излучения и плоскостью сварного шва не должен превышать 5° ,
- фокусное расстояние должно равняться наружному диаметру трубы,
- минимальное количество экспозиций равно трём. При каждой экспозиции источник излучения следует смещать на угол не более 120° .

По схеме просвечивания «на эллипс» контроль проводят, как правило, за две установки, смещая источник излучения на 90° [17].

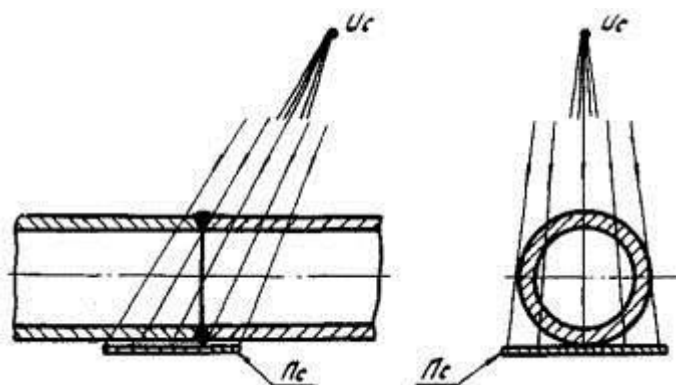


Рисунок 8 - Схема просвечивания «на эллипс»

Как правило, специальной подготовки поверхности сварного соединения перед проведением радиографического контроля не требуется. Однако, в тех случаях, когда неровности поверхности сварного шва, брызги металла могут повредить радиографическую пленку, эта поверхность должна быть зачищена. После устранения дефектов сварного шва, выявленных по результатам предшествующего контроля, производят разметку сварного соединения. Сварной шов размечают на отдельные участки, задают начало и направление нумерации в определенной последовательности для каждого снимка.

На контролируемых участках должны быть установлены эталоны чувствительности так, чтобы на каждом снимке было полное изображение эталона. При панорамном просвечивании кольцевых сварных соединений допускается устанавливать эталоны чувствительности по одному на каждую четверть окружности сварного соединения.

Для измерения глубины дефекта по его потемнению на радиографическом снимке методом визуального или инструментального сравнения с эталонными канавками или отверстиями используют канавочные эталоны чувствительности или имитаторы. При определении чувствительности контроля расчет необходимо вести по той толщине стенки трубы, на которую установлены эталоны чувствительности [18].

Рентгенографический кроулер – это самоходный автоматический комплекс, используемый для контроля качества сварных соединений различных трубопроводов. Является полностью независимым экспонирующим устройством, которое не нуждается в проводной связи и способно принимать команды для перемещения, остановки и снятия рентгенограммы извне при помощи изотопного и магнитного устройств. Как конструкция рентгеновский кроулер представляет собой комплекс, получающий питание от батарей и состоящий из отдельных модулей, предназначенный для проведения контроля труб различных диаметров.

Управление кроулером при помощи внешних управляющих устройств сведено к минимуму благодаря возможной предварительной настройке, позволяющей приспособить кроулер для работы в любом трубопроводе [19].

Применение в современных устройствах микропроцессорной технологии, обеспечивает возможность высокой производительности, надежности и простоты работы с аппаратом. Размещение внутри трубы позволяет провести контроль кольцевого сварного шва за одну установку, в то время как, используя внешние аппараты необходимо провести от 2 и более, для больших диаметров труб, установок аппарата. Кроме того, используя кроулер нет необходимости переставлять рентгеновскую трубку на каждом сварочном шве, а качество полученного изображения повышается, т.к. просвечивается только одна стенка трубы.

На рисунке 9 схематично изображен чертеж кроулера, расположенного внутри трубопровода, поясняющий принцип его работы.

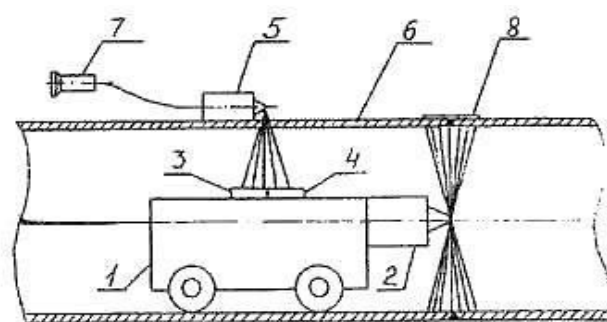


Рисунок 9 - Схема рентгеновского кроулера: 1 – самоходная тележка; 2 – панорамный аппарат; 3,4 – ионизационные счетчики; 5 – командный аппарат; 6 – труба; 7 – выносной пульт; 8 – приемник излучения.

В качестве приемника проникающего излучения аппарата в кроулере используется два ионизирующих счетчика. Перед началом движения самоходной тележки, включается с помощью выносного пульта командный аппарат. Благодаря специальному коллиматору он имеет узконаправленную диаграмму излучения строго внутрь трубы. При попадании излучения

командного аппарата на детектор 3, кроулер замедляет свое движение, а при срабатывании детектора 4, он останавливается в положении, когда фокус излучения панорамного аппарата находится на линии, перпендикулярной контролируемому шву трубы и рентгеновской пленке [20].

В практике радиационной дефектоскопии нашли применение рентгеновские аппараты двух видов: с постоянной нагрузкой и импульсные. В свою очередь, аппараты с постоянной нагрузкой используются трех типов:

- аппараты-моноблоки, у которых рентгеновская трубка и трансформатор смонтированы в единый блок-трансформатор, залитые маслом или заполненные газом;
- стационарные аппараты кабельного типа, состоящие из самостоятельного генераторного устройства, рентгеновской трубки и пульта управления;
- высокочастотные аппараты, состоящие из моноблока, блока питания и пульта управления.

К аппаратам 1-го типа относят портативные аппараты, предназначенные как для фронтального просвечивания изделий направленным пучком излучения, так и для панорамного просвечивания кольцевым пучком излучения в полевых и монтажных условиях. В этих аппаратах используют рентгеновские трубки с неподвижным анодом и полуволновую схему питания с выпрямительным высоковольтным диодом. Рентгеновская трубка работает только в течение первого полупериода, а затем в процессе второго полупериода диод запирает ток.

Аппараты 2-го типа выпускались обычно передвижными. Они предназначены для цеховых и лабораторных условий.

В аппаратах кабельного типа применяют рентгеновские трубки с обычным анодом и с вынесенным анодом. В трубках с вынесенным анодом, за счет дополнительной фокусировки электронного пучка, обеспечиваются малые размеры фокусного пятна, достигающего диаметра 0,3 мм. Это

позволяют увеличить четкость снимков. Для питания рентгеновской трубки широко применяется схема двухполупериодного выпрямления: в первый период ток проходит через одну пару клапанов, во второй - через другую. Использование выпрямителей с параллельно включенной емкостью позволяет подавать на трубку сглаженное выпрямленное напряжение. Это способствует получению максимальной выходной мощности излучения [21].

В настоящее время изготавливаются аппараты преимущественно 3-го типа. Они имеют значительно меньшие габариты и вес по сравнению с предыдущими типами, но обеспечивают те же радиационные параметры.

В высокочастотных аппаратах на высоковольтный трансформатор подается переменное напряжение с частотой от 1 до 100 кГц. Для передачи мощности на таких частотах уже не требуются магнитопроводы большого сечения, т.к. суммарную мощность за определенный промежуток времени можно передать более мелкими порциями. Габариты и вес аппаратов при этом резко снижаются.

Импульсные аппараты находят применение при контроле качества сварных соединений в полевых условиях в связи с их малой массой и габаритными размерами. Потребляемая мощность аппаратов составляет всего 200- 300 Вт и они могут питаться от малогабаритных аккумуляторов. В импульсных аппаратах применяют специальные рентгеновские трубки, выполненные в виде плоского анода и игольчатого катода, находящегося вблизи анода. Под действием импульса высокого напряжения между острием катода и анодом возникает большая напряженность электрического поля, приводящая к вырыванию (автоэлектронной эмиссии) электронов из катода. Далее идет ускорение электронов и их торможение, как и в трубках с накальным катодом [22].

Для получения высокого напряжения используют импульсную схему с разрядниками и импульсными трансформаторами приведенную на рисунке 9.

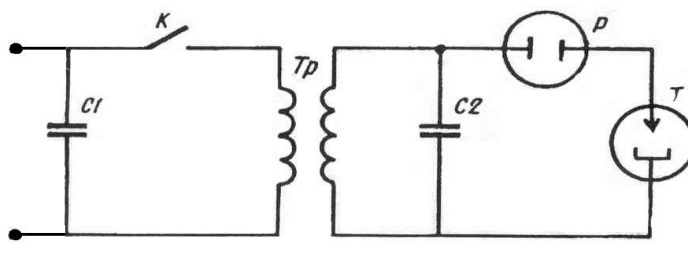


Рисунок 10 - Эквивалентная электрическая схема импульсного рентгеновского аппарата

Радиография - метод получения статического видимого изображения внутренней структуры изделия, просвечиваемого ионизирующим излучением, на рентгеновской пленке или фотобумаге. После проявления на рентгеновской пленке возникает видимое полутонное негативное изображение просвечиваемого объекта, которое затем анализируется на экране негатоскопа. Другой разновидностью этого метода является регистрации радиационного изображения на запоминающих пластинах. Информация с пластин считывается лазерным пучком в специальных сканирующих устройствах и заносится затем в цифровой форме на любой электронный носитель.

На практике радиографический метод получил наибольшее распространение в связи с его простотой и документальным подтверждением получаемых результатов. Используя перечисленные методы, можно просвечивать стальные сварные соединения толщиной 1—500 мм.

Радиоскопия (радиационная интроскопия) - метод получения видимого динамического изображения внутренней структур изделия, просвечиваемого ионизирующим излучением. Не распознаваемое глазом радиационное изображение объекта контроля, преобразуется в светотеневое изображение с помощью флуорескопического экрана или сцинтилляционного кристалла, которое анализируется глазом или регистрируется с помощью телевизионной камеры. Оцифрованное изображение выводится на экран монитора в режиме реального времени или записывается на электронный носитель. Этот метод

обеспечивает проведение неразрушающего радиационного контроля изделий, при перемещении их со скоростью от 0.3 до 1.5 м/сек.

К недостаткам следует отнести конструктивную сложность и стоимость систем контроля и трудности применения таких систем в полевых условиях. В цеховых условиях интроскопы широко применяются на трубных заводах для просвечивания продольных и поперечных сварных швов труб большого диаметра.

Источниками излучения обычно служат рентгеновские аппараты. Значительно реже используют радиоизотопные источники γ -излучения, источники нейтронов и ускорители.

Радиометрическая дефектоскопия метод получения информации о внутреннем состоянии контролируемого изделия. Сущность радиометрического метода заключается в сканировании объекта коллимированным пучком излучения с последующим преобразованием прошедшего излучения детектором в электрический сигнал. (различной величины, длительности или количества).

Источниками излучения в радиометрическом контроле служат, в основном, радиоактивные источники. Для регистрации излучения могут быть использованы ионизационные камеры, газоразрядные счетчики, полупроводниковые и сцинтилляционные детекторы, сцинтилляционные детекторы получили наибольшее распространение благодаря высокой эффективности и большому быстродействию. При использовании сцинтилляционного детектора узкий пучок излучения, прошедший контролируемый объект, попадает на сцинтиллятор, состыкованный с фотокатодом фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). Поглощенная часть энергии фотона ионизирующего излучения преобразуется сцинтиллятором в световую вспышку, которая с помощью ФЭУ преобразуется в электрический сигнал. Регистрирующими устройствами могут быть показывающие приборы (счетчики импульсов, осциллографы, миллиамперметры), самописцы или различные электронные приборы. Благодаря высокому коэффициенту

усиления фотоэлектронного умножителя и его малой инерционности чувствительность радиометрического метода составляет доли процента.

Этот метод получил широкое применение для бесконтактного автоматического контроля толщины листового проката. При использовании обратно рассеянного рентгеновского излучения радиометрические метод используется для измерения толщины различных покрытий материалов. Путем анализа спектрального распределения характеристического излучения, возникающего в результате взаимодействия первичного рентгеновского излучения с материалом покрытия и подложки производится :

- измерение толщины покрытия из драгоценных металлов (золото, серебро, платина), наносимых на подложку из стали, цветных металлов, керамики;
- измерение толщины покрытий из металлов общей группы (олово, цинк, медь, кадмий, железа и т.д.).

Радиометрический метод обеспечивает возможность автоматизации процесса контроля и осуществления автоматической обратной связи контроля и корректировки технологического процесса изготовления изделий [23].

2 Транспортные системы

Заказчики и сервисные компании заинтересованы в повышении качества проведения дефектоскопии и повышение производительности труда при строительстве и ремонте трубопроводов. Большим потенциалом для этого обладают технологии с применением автоматизированных систем орбитального перемещения для контроля кольцевых сварных швов трубопроводов. Основные требования к таким системам это:

- Транспортабельность;
- Минимальное количество рабочего персонала;
- Энергоэффективность;
- Цифровизация информации;
- Высокая скорость работы.

Уже существуют такого рода системы орбитального перемещения оборудования, построенные на различных принципах. Известно оборудование компаний российской производителя «ТРАНССКАН», американского производителя «CRC-EVANS», японского производителя «WeldROVER» [25].

Оборудование «ТРАНССКАН» представляет собой промежуточную опорную поверхность в виде пояса, располагающуюся возле сварного шва, на которую закрепляется каретка для перемещения оборудования с возможностью работы от аккумуляторной батареи или от постоянного источника питания, рисунок 11. Каретка имеет крепления для перемещения различного оборудования. Каретка крепится на пояс путем упора в боковые грани пояса роликов, имеющих дорожки.

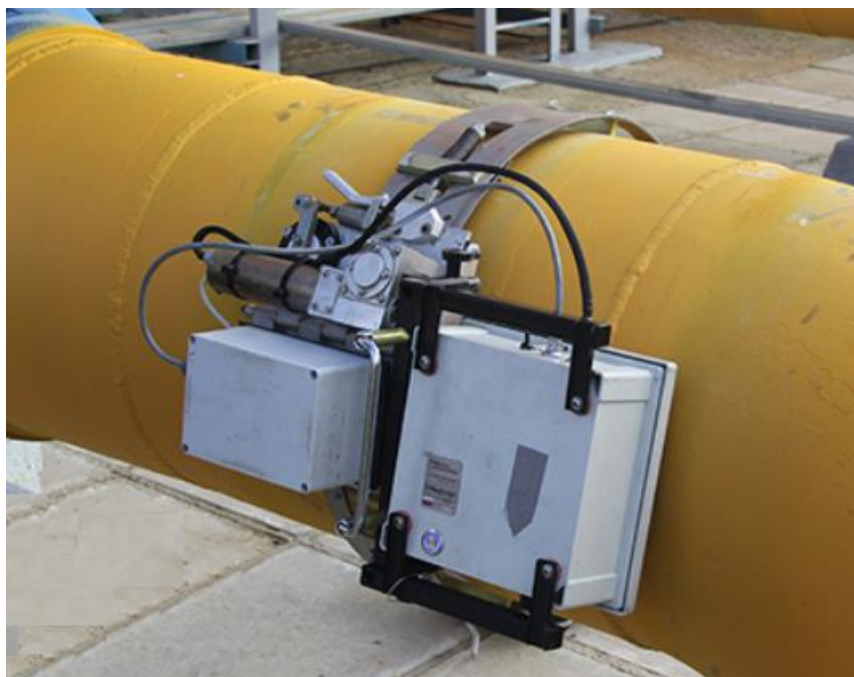


Рисунок 11 – Портативный комплекс цифровой радиографии «ТРАНССКАН»

Такие схемы компоновки являются энергоэффективными, поскольку значительно снижают трудозатраты и энергозатраты при монтаже оборудования и позволяют эксплуатировать источники излучения без применения дополнительного грузоподъемного оборудования и дополнительных источников питания. Производитель заявляет время установки до 2 минут. Применение цифровой радиографии позволяет отказаться от расходных материалов, однако в следствие особенности конструкции наибольшую нагрузку воспринимают упорные ролики, вследствие чего требуют периодичной замены.

Для реализации закрепления опорной поверхности на трубопроводах различного диаметра используется составные пояса имеющие определенные размеры под каждый диаметр трубопровода.

Каретка реализуется с помощью шарнирного соединения, скрепляющего две площадки в углах которых расположены упорные ролики. Два ролика закреплены в эксцентричной обойме с пружинным механизмом для создания прижимного усилия к поясу, рисунок 12.

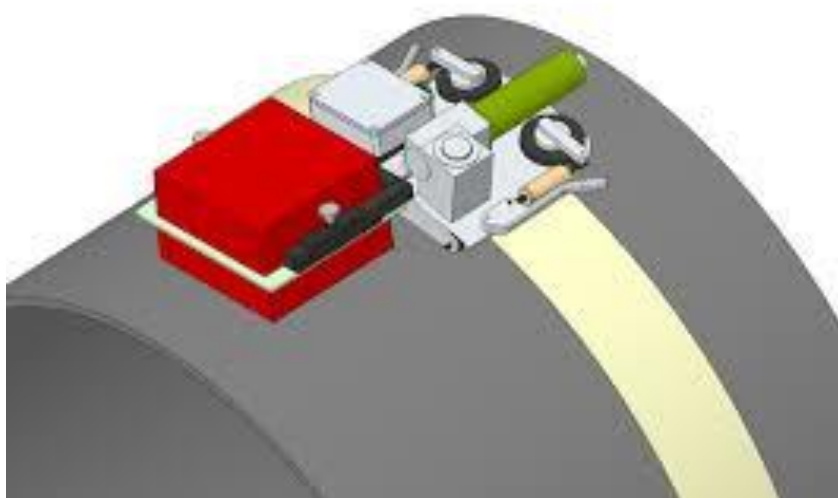


Рисунок 12 – модель «ТРАШКАН»

Подобная система представлена компанией «CRC-EVANS», в данный момент используется для реализации сварки кольцевых швов, рисунок 13 [25].



Рисунок 13 – «CRC-EVANS»

Существует конструкция механизма орбитального перемещения, реализованная на магнитных колесах компании «WeldROVER», в данный момент с помощью него реализован ультразвуковой дефектоскопический комплекс, рисунок 14. Основой является магнитное колесо, содержащее шайбообразный магнит, заключенный между двумя полюсными наконечниками, находящимися в контакте с опорной поверхностью [26].

Недостатком известного механизма является низкая проходимость по поверхности переменной кривизны, так как опорной поверхностью является внешняя часть трубопровода. Также в процессе проведения дефектоскопии необходимо корректировки оператором движения механизма, что ухудшает качество диагностирования.



Рисунок 14 – «WeldROVER»

3 Расчетно-конструкторская часть

В качестве наиболее перспективной была выбрана конструкция «ТРАНССКАН» каретки с упорными роликами и промежуточной опорной поверхностью, включающая в себя наилучшие потребительские качества. Для реализации повышение эффективности контроля сварных соединений магистрального трубопровода рентгенографическим оборудованием орбитального движения с помощью программного обеспечения «SolidWorks» и «Ansys» будут построены различные модели и произведены расчеты напряженно-деформационного состояния каретки и составных частей в процессе перемещения по трубопроводу. Данная работа позволит выявить наиболее напряженно-деформационные места конструкции, произвести их модернизацию.

В исследовании задач механики в объеме используется тип конечных элементов SOLID185 (гексэдр).

SOLID 185 - трехмерный (3D) элемент объемного НДС с восемью узлами. Элемент SOLID185 используется для трехмерного (3D) моделирования объемных конструкций. Элемент определяется узлами, имеющими три степени свободы в каждом узле: перемещения в направлении осей X, Y и Z узловой системы координат. Элемент имеет свойства пластичности, гиперупругости, изменения жесткости при приложении нагрузок, ползучести, больших перемещений и больших деформаций; смешанную формулировку для расчета почти несжимаемых упругопластических материалов и полностью несжимаемых гиперупругих материалов.

Построим и рассмотрим модель «ТРАНССКАН», рисунок 12.

3.1 Построение модели

Для построения модели с последующим расчетом напряженно-деформационного состояния, будут использованы размеры рабочих образцов с упрощением, но сохранением расположения основных частей.

3.1.1 Каретка с двумя площадками

Основными составляющими частями являются 2 площадки каретки, соединенные шарнирным соединением, с установленными роликом и эксцентрическим роликом на каждой из площадок. Полезная нагрузка в виде детектора массой до 10 килограмм располагается односторонне и имеет габаритные размеры: длина 30 сантиметров, высота 20 сантиметров, ширина 25 сантиметров. Закрепление детектора производится на одной из площадок каретки. Каретка закрепляется на промежуточном поясе с помощью упорных роликов на боковых гранях пояса диаметром 1040 или 1440 миллиметров, толщиной 2 миллиметра, рисунок 15, 16, 17, 18.



Рисунок 15 – Каретка с дефектоскопом «ТРАНСКАН»

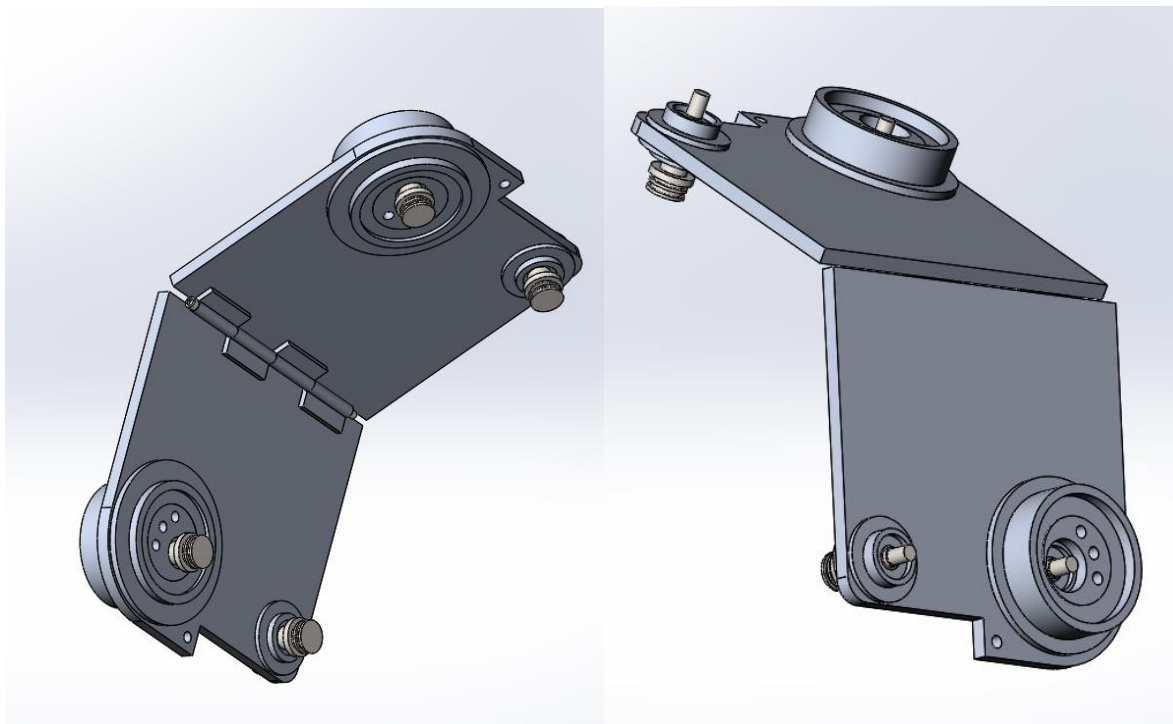


Рисунок 16, 17 – Упрощенная модель каретки с двумя площадками

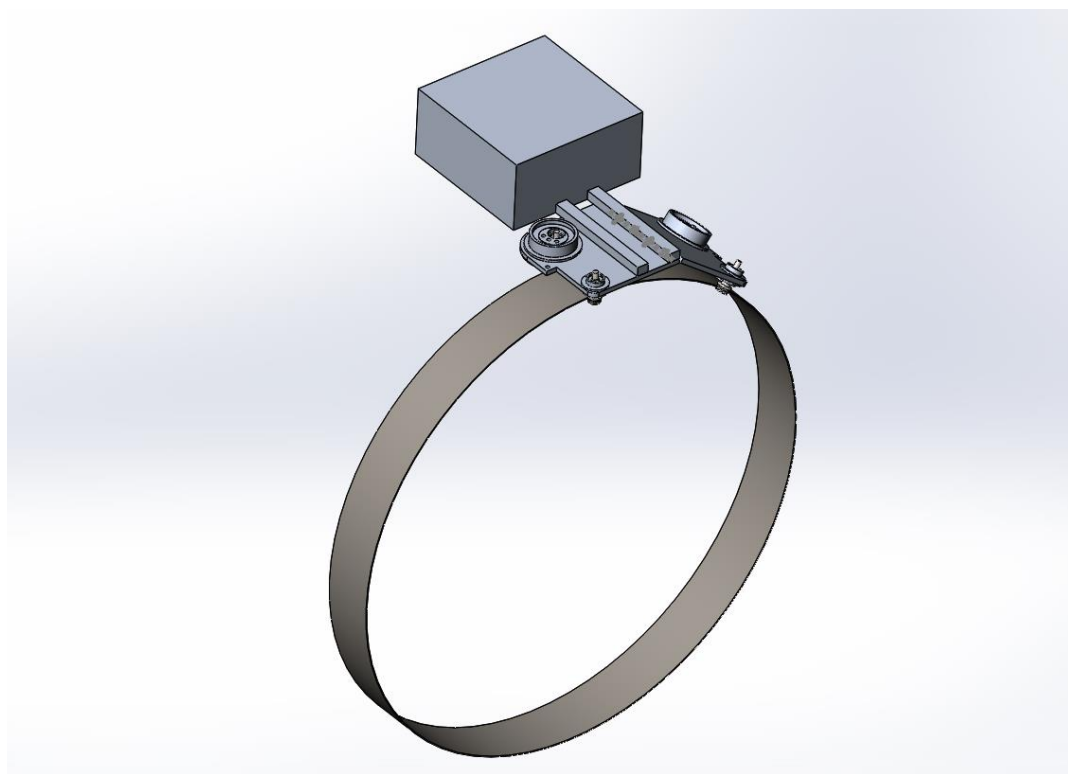


Рисунок 18 – Упрощенная модель каретки с двумя площадками, дефектоскопом, закрепленная на промежуточном поясе

Также для работы дефектоскопа в режиме фронтальной дефектоскопии необходимо размещение на каретки источника излучения, массой до 50 килограмм, рисунок 19, 20.



Рисунок 19 – Каретка с установленным источником излучения

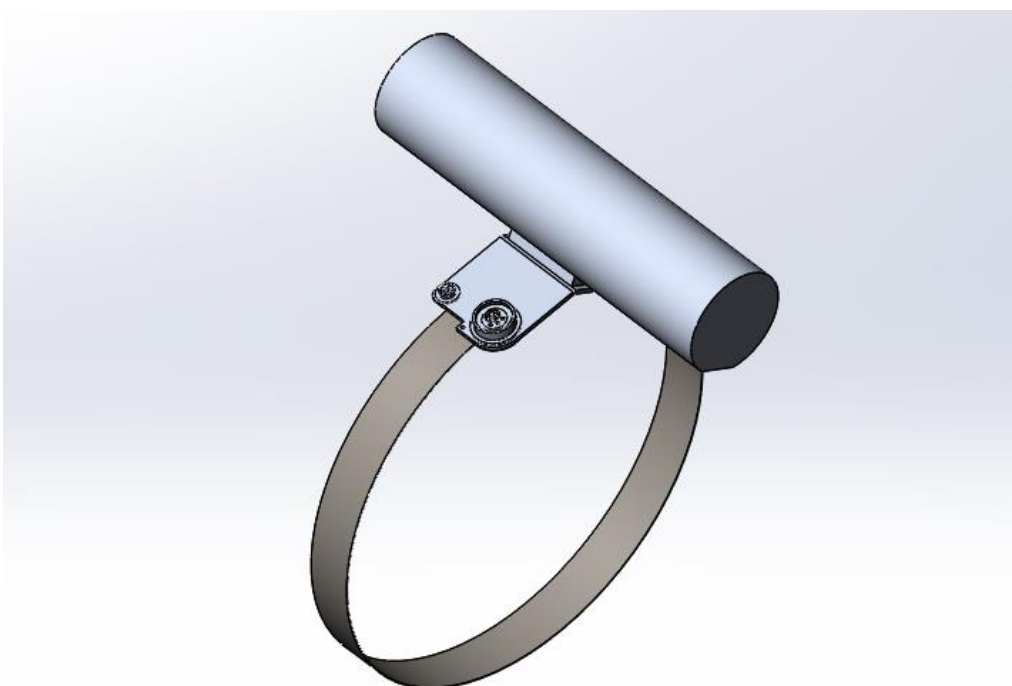


Рисунок 20 – Модель каретка с установленным источником излучения

При смехе каретки с двумя площадками размещение оборудования для передвижения и связи уславливается на одной из площадок, в то время как на второй площадке располагается полезная нагрузка.

Также рассмотрим модернизированную схему каретки с тремя площадками.

3.1.2 Каретка с тремя площадками

Основным отличием каретки с тремя площадками от каретки с двумя площадками является схема крепления полезной нагрузки, расположенной симметрично упорных роликов. Построенные модели с детектором и источником излучения также располагаются на промежуточных поясах 1040 и 1440 миллиметров, рисунок 21, 22, 23, 24.

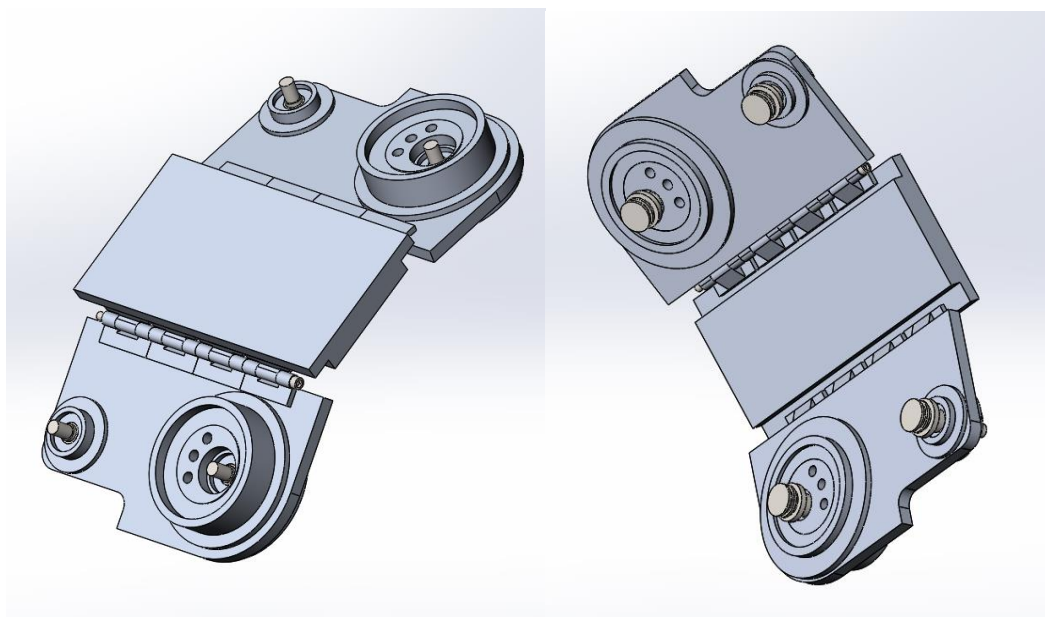


Рисунок 21, 22 – Упрощенная модель каретки с тремя площадками

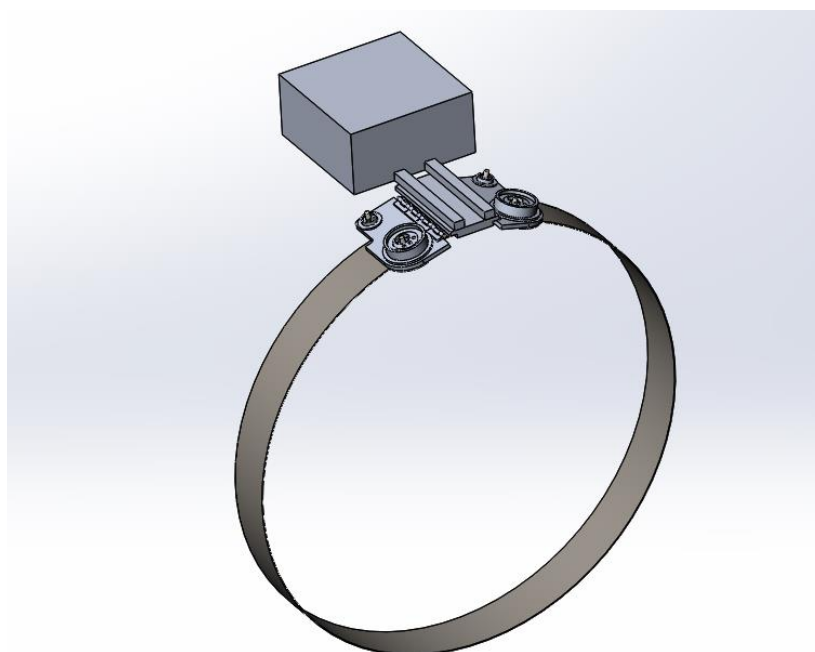


Рисунок 23 – Упрощенная модель каретки с тремя площадками, дефектоскопом, закрепленная на промежуточном поясе

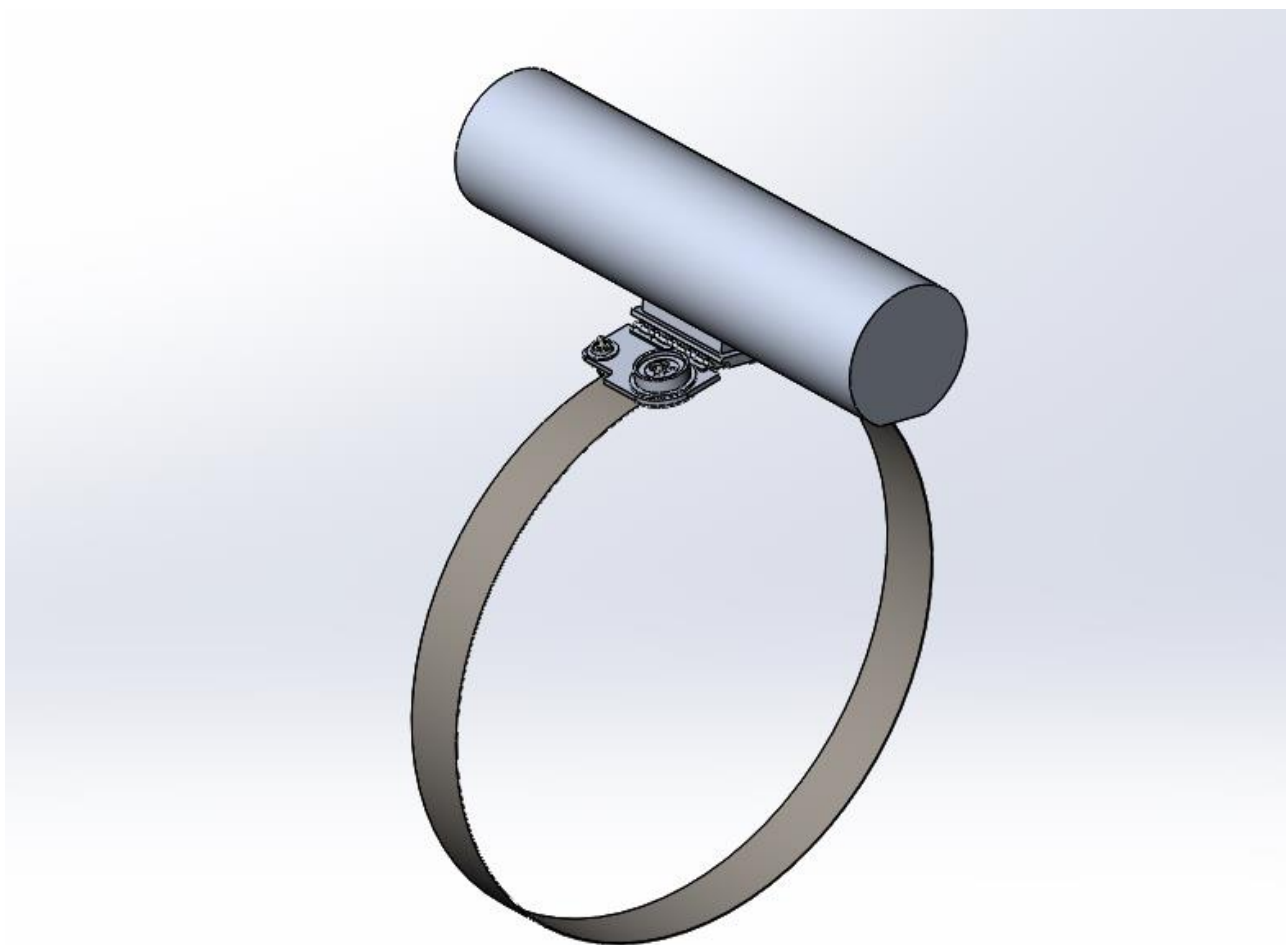


Рисунок 24 – Модель каретки с установленным источником излучения

Основными материалами, применяемыми в каретке и поясе являются ковкая сталь с пределом текучести 206 МПа, твердостью НВ 230 и сплав дюралюминия с пределом текучести 270 МПа и твердостью НВ 100.

3.2 Расчет напряженно-деформационного состояния каретки

Расчет проводится в программном обеспечении «Ansys».

Заданные граничные условия:

- Внутренняя часть пояса закреплена жесткой заделкой;
- Температура неизменна и равна 20⁰С;
- Масса детектора 10 кг, масса источника излучения 50 кг;
- Масса каретки 10 кг.

В процессе движения каретка с грузом совершает круговое движение по поясу. Рассмотрим максимальные напряжения по модулю вне зависимости от направления вектора.

3.2.1 Каретка с двумя площадками, детектором на поясе 1040 миллиметров

Рассмотрим напряженно-деформационное состояние каретки с детектором находящиеся в верхней точки трубопровода, рисунок 25, 26.

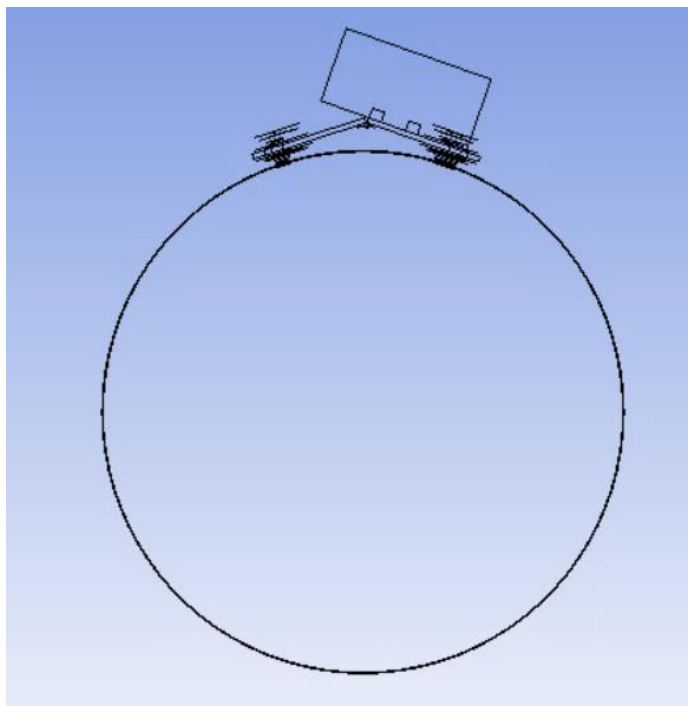


Рисунок 25 – Каретка с детектором в верхней точки трубопровода

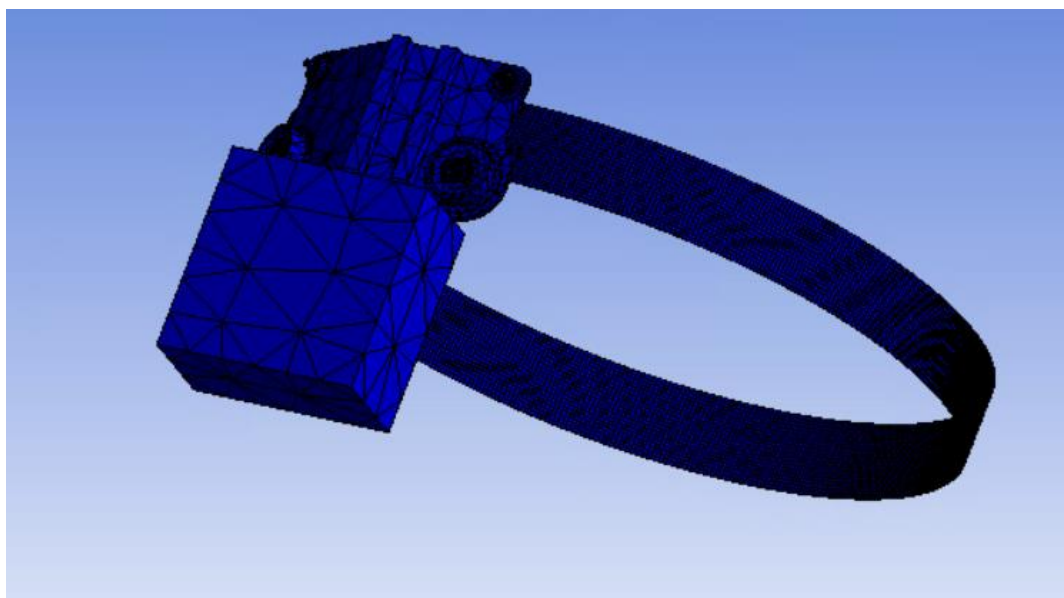


Рисунок 26 – Каретка с детектором

Наиболее нагруженным местом является контакт упорных роликов с поясом, рисунок 27, 28.

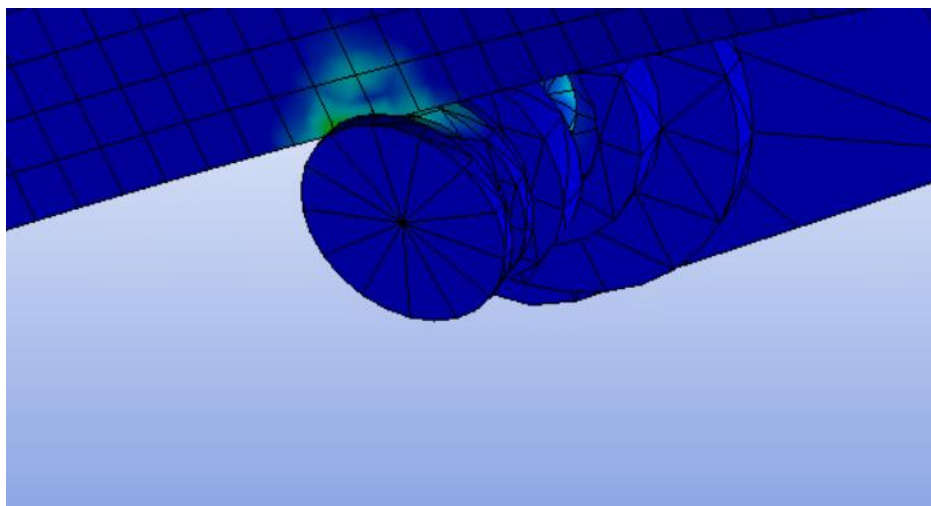


Рисунок 27 – Распределение нагрузки на упорном ролике каретки

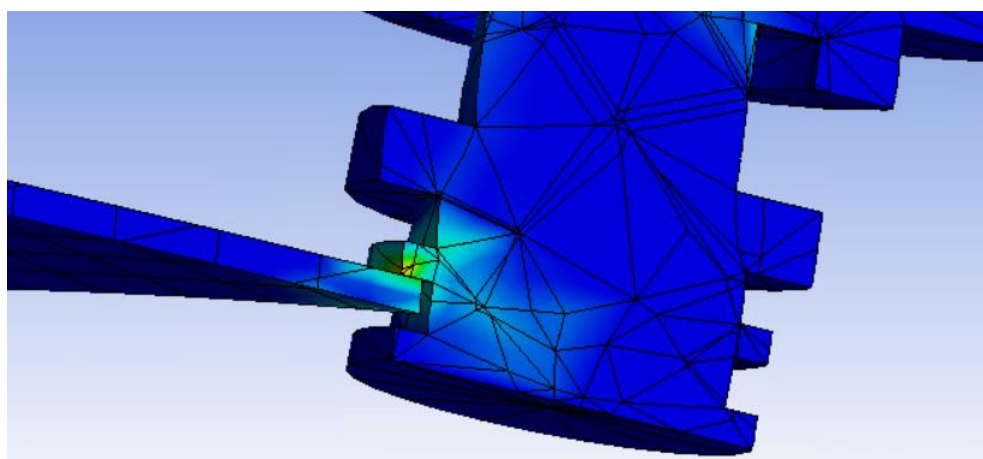


Рисунок 28 – Распределение нагрузки на упорном ролике каретки в разрезе

Проведем расчеты по мере продвижения каретки по поясу и получим следующий график максимального напряженного состояния, расположенного на контакте ролика и пояса, рисунок 29.



Рисунок 29 – График максимального напряжения на контакте ролика и каретки с двумя площадками и детектором на поясе 1040 мм

3.2.2 Каретка с двумя площадками, источником излучения на поясе 1040 миллиметров

Проведем аналогичные расчеты полезной нагрузкой в виде источника излучения на поясе 1040 мм, рисунок 30, 31, 32.

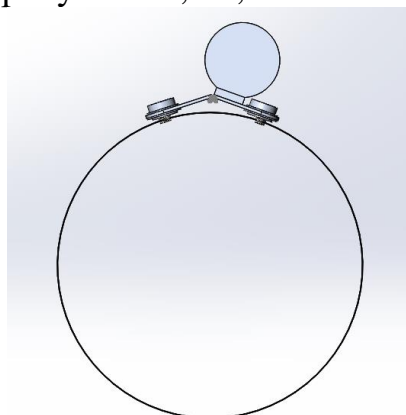


Рисунок 30 – Каретка с источником излучения в верхней точки трубопровода

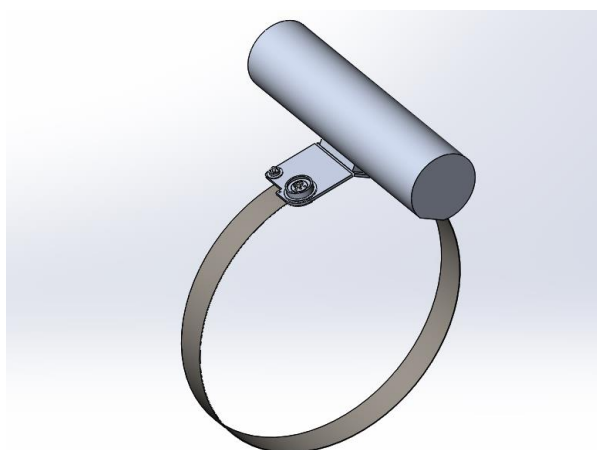


Рисунок 31 – Каретка с двумя площадками и источником излучения на поясе 1040 мм



Рисунок 32 – График максимального напряжения на контакте ролика и каретки с двумя площадками и источником излучения на поясе 1040 мм

3.2.3 Каретка с двумя площадками, детектором на поясе 1440 миллиметров

Проведем расчет на поясе устанавливаемом на магистральных газовых трубопроводах, рисунок 33.



Рисунок 33 – График максимального напряжения на контакте ролика и каретки с двумя площадками и детектором на поясе 1440 мм

3.2.4 Каретка с двумя площадками, источником излучения на поясе 1440 миллиметров



Рисунок 34 – График максимального напряжения на контакте ролика и каретки с двумя площадками и источником излучения на поясе 1440 мм

3.2.5 Каретка с тремя площадками, детектором на поясе 1040 миллиметров

Рассмотри напряженно-деформированное состояние модернизированной каретки с тремя площадками, рисунок 35, 36.

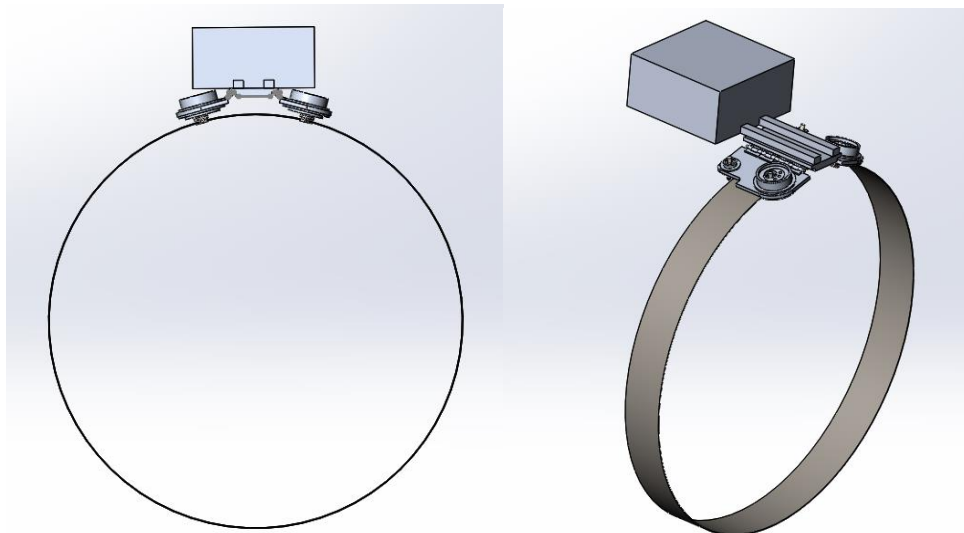


Рисунок 35, 36 – Каретка с детектором в верхней точки трубопровода

Проведя аналогичные расчет получим следующие значения максимального напряжения (рисунок 37), также, как и в первом случае, на контакте упорного ролика и промежуточного пояса.

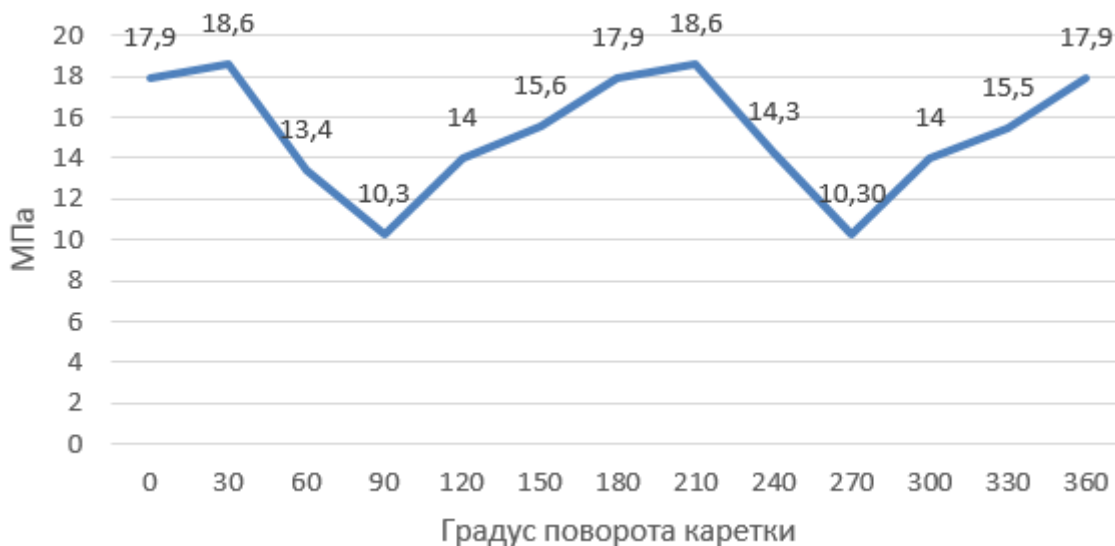


Рисунок 37 – График максимального напряжения на контакте ролика и каретки с тремя площадками и детектором на поясе 1040 мм

3.2.6 Каретка с тремя площадками, источником излучения на поясе 1040 миллиметров

Проведем расчеты каретки с тремя площадками и источником излучения, также приведя полученные данные на графике, рисунок 38, 39, 40.

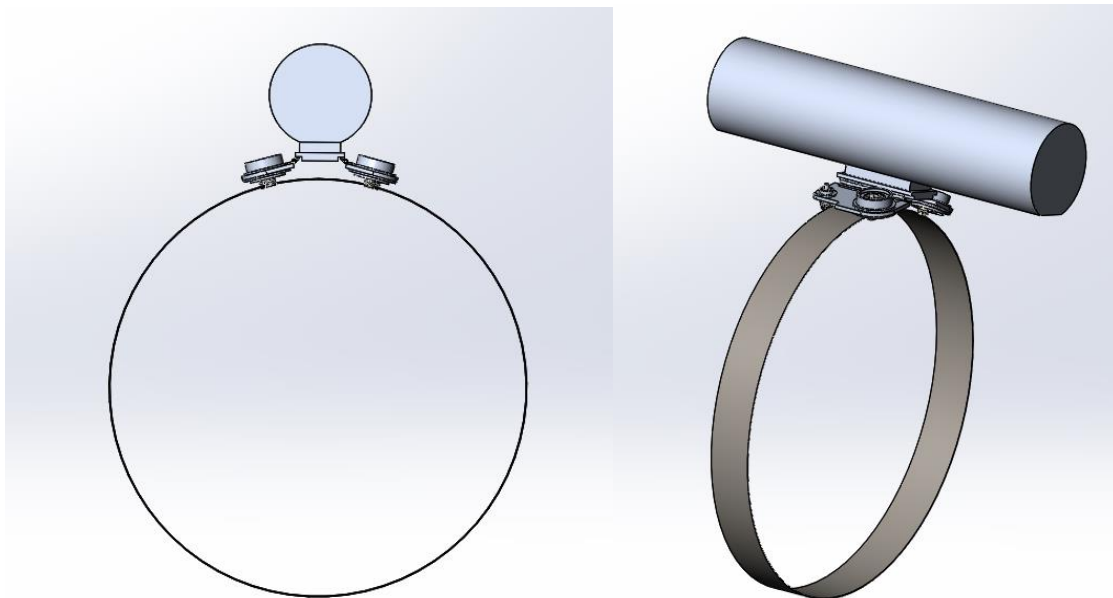


Рисунок 38, 39 – Каретка с источником в верхней точки трубопровода



Рисунок 40 – График максимального напряжения на контакте ролика и каретки с тремя площадками и источником излучения на поясе 1040 мм

3.2.7 Каретка с тремя площадками, детектором на поясе 1440 миллиметров

Проведем расчет на поясе, устанавливаемом на магистральных газовых трубопроводах, рисунок 41.



Рисунок 41 – График максимального напряжения на контакте ролика и каретки с тремя площадками и детектором на поясе 1440 мм

3.2.8 Каретка с тремя площадками, источником излучения на поясе 1440 миллиметров



Рисунок 42 – График максимального напряжения на контакте ролика и каретки с тремя площадками и источником излучения на поясе 1440 мм

3.3 Анализ результатов

Представленная сводная таблица 2 показывает, что, различия в максимальном напряжении на контакте ролика и поясах 1040 и 1440 мм отличаются в среднем чуть более чем в 2%, в связи с этим будем рассматривать сравнение кареток на поясе 1040 мм и считать выводы применимыми также к размеру пояса 1440мм.

Таблица 2 – сводные значения максимальных напряжений

Градус поворота каретки	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
Две площадки, источник излучения, пояс 1040мм, МПа	21,4	20,6	27,4	35,5	36,4	24,9	21,4	20,6	27,4	35,4	36,6	24,9	21,4
Три площадки, источник излучения, пояс 1040мм, МПа	14,1	19,6	25,1	32,2	30,9	24,0	16,3	21,6	26,3	33,8	30,9	22,9	14,1
Две площадки, детектор, пояс 1040мм, МПа	57,0	53,0	34,1	13,2	33,2	54,2	57,2	53,6	13,3	33,2	54,9	57,1	57,0
Три площадки, детектор, пояс 1040мм, МПа	17,9	18,6	13,4	10,3	14,0	15,6	17,9	18,6	14,3	10,3	14,0	15,5	17,9
Две площадки, источник излучения, пояс 1440мм, МПа	21,0	20,2	26,9	34,8	35,7	24,4	21,0	20,2	26,9	34,7	35,8	24,4	21,0
Три площадки, источник излучения, пояс 1440мм, МПа	13,8	19,2	24,6	31,6	30,3	23,5	16,0	21,2	25,8	33,1	30,3	22,4	13,8
Две площадки, детектор, пояс 1440мм, МПа	55,9	51,9	33,4	12,9	32,5	53,1	56,1	52,5	13,0	32,5	53,8	56,0	55,9
Три площадки, детектор, пояс 1440мм, МПа	17,5	18,2	13,1	10,1	13,7	15,3	17,5	18,2	14,0	10,1	13,7	15,2	17,5

Максимальная деформация после проведения всех расчетов не превысила 0,3 мм.

Рассмотрим совмещенные графики максимальных напряжений каретки с источником излучения с двумя и тремя площадками, рисунок 43. Как видно из графика распределение по мере вращения каретки по поясу подобны, однако в среднем значения максимального напряжения на наиболее нагруженном ролике каретки с тремя площадками меньше на 13%. Это связано с тем что вес полезной нагрузки распределяется равномернее при схеме каретки с 3 площадками за счет удлинения конструкции и более симметричного расположения полезной нагрузки.



Рисунок 43 – Совмещенный график максимального напряжения на роликах кареток с источником излучения

Также рассмотрим совмещенные графики максимальных напряжений при перемещении каретки с детектором, рисунок 44. Как видно здесь при реализации схемы каретки с двумя площадками происходит неравномерно распределение нагрузки по сравнению с кареткой с тремя площадками. В среднем значение максимальной нагрузки на упорный ролик больше на 188%. Что приводит к значительно большему износу и уменьшению срока службы роликов.

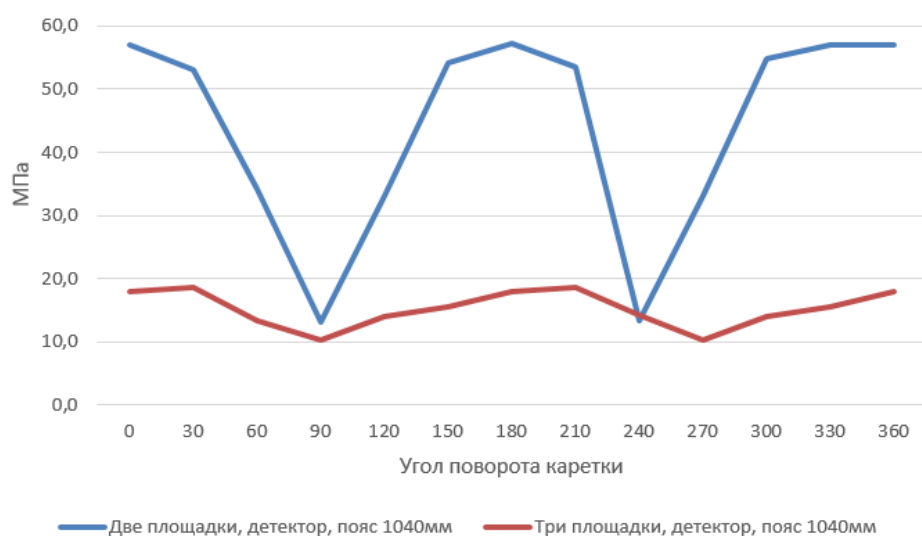


Рисунок 44 – Совмещенный график максимального напряжения на роликах кареток с детектором

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В данной работе рассмотрена применимость конструкции крепления рентгенографического приемника ионизирующего излучения, с применением системы орбитального перемещения с промежуточной опорной поверхностью, используемого для контроля качества кольцевых сварных швов магистральных трубопроводов.

Для инженерной разработки очень важным параметром является её коммерческая ценность, которая объединяет в себя множество факторов и позволяет инвесторам оценить перспективность разработки, не углубляясь в её суть. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научных исследований;
- определить возможные альтернативы проведению научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- спланировать исследовательскую работу;
- произвести расчет характеристик механизма.

4.1 Оценка коммерческого потенциала

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой.

В изготовлении оборудовании с применением цифровой рентгенографии, в совокупности с автоматической системой орбитального перемещения, прежде всего, заинтересованы крупные компании нефтегазовой отрасли. С 2000 года компаниями АО «Газпром» и АО «Транснефть» были введены в работу более 40 тысяч километров магистральных трубопроводов. По грубой оценке это дает необходимость в проведение дефектоскопии новых кольцевых сварных соединений в количестве более 170 тысяч штук в год.

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки и т. д.

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью сравнительной карты, таблица №3.

Таблица 3 – Сравнительная карта для конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Необходимость расходных материалов	0,11	5	0	3	0,55	0	0,33
2. Скорость контроля	0,08	4	3	3	0,32	0,24	0,24
3. Чувствительность контроля	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
4. Требуемый уровень квалификации работников	0,04	5	3	2	0,2	0,12	0,08
5. Уровень автоматизации	0,08	5	0	0	0,4	0	0
6. Широта рабочих темпер.	0,05	2	4	4	0,1	0,2	0,2
7. Простота изготовления	0,04	2	5	2	0,08	0,1	0,08
8. Защита от коррозии	0,03	3	5	4	0,09	0,15	0,12
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность	0,04	5	5	3	0,2	0,2	0,12
2. Уровень проникновения на рынок	0,05	2	5	3	0,1	0,25	0,15
3. Цена	0,11	4	2	3	0,44	0,22	0,33
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,11	5	0	4	0,55	0	0,44
5. Возможность применения в др. областях	0,03	3	3	3	0,09	0,09	0,09
6. Потребность в ТО	0,04	2	5	2	0,08	0,2	0,08
7. Уровень доверия потребителей	0,04	2	5	3	0,08	0,2	0,12
8. Безотходность	0,08	5	2	5	0,4	0,16	0,4
Итого	1	59	51	47	4,02	2,41	2,99

Б_Ф – проведение контроля с использованием цифровой рентгенографии;

Б_{к1} – с использованием рентгеновских пленок;

Б_{к2} – ультразвуковой метод.

В результате анализа существующих методов контроля сварных соединений, можно сделать вывод о том, что целесообразно использовать метод цифровой рентгенографии, с применением орбитального перемещения детектора. Предлагаемое устройство более сложное в изготовлении, однако данная технология превосходит аналоги по ряду признаков многие другие, она позволит значительно ускорить процесс проведения работ, повысить его чувствительность и компенсировать первоначальную стоимость закупки отсутствием необходимости в расходных материалах и сроками службы [27].

4.1.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ инженерного проекта. Его применяют для того, чтобы перед организацией или менеджером проекта появилась отчетливая картина, состоящая из лучшей возможной информации и данных, а также сложилось понимание внешних сил, тенденций и подводных камней, в условиях которых проект будет реализовываться. Матрица проекта представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Матрица SWOT

	Сильные стороны исследовательского проекта:	Слабые стороны исследовательского проекта:
	1. Отсутствие необходимости в расходных материалах. 2. Высокая скорость проведения контроля. 3. Повышение чувствительности метода	1. Особые условия использования в условиях экстремального мороза. 2. Сложность изготовления оборудования, по сравнению с другими методами. 3. Необходимость

	<p>контроля.</p> <p>4. Пониженные требования к уровню квалификации работников.</p> <p>5. Автоматизация.</p>	<p>привлечения крупных инвестиций для разработки и внедрения.</p> <p>4. Подверженность конструкции коррозии.</p>
<p>Возможности:</p> <p>1. Появление широкого спроса на сложные технические решения в связи с увеличением протяженности нефтепроводов.</p> <p>2. Использование данной технологии в области контроля не только нефтепромысловых объектов.</p> <p>3. Прогнозируемый специалистами рост цен на нефть</p>	<p>1. Разработка и реализация комплекса маркетинговых мероприятий с целью формирования базы потенциальных покупателей.</p> <p>2. Предоставление предприятиям пробного периода использования для ознакомления с достоинствами.</p>	<p>1. Поиск и реализация проекта в сфере деятельности, отличной от нефтегазовой.</p> <p>2. Поиск инвесторов, заинтересованных в прибыли, в связи с предстоящим ростом цен на нефть.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>1. Широкое распространение конкурентных технологий.</p> <p>2. Развитие альтернативных нефти источников энергии.</p> <p>3. Сильная позиция рентгеновских пленок на рынке.</p>	<p>1. Использование полных преимуществ в области автоматизации с целью повышения конкурентоспособности товара.</p> <p>2. Позиционирование товара с точки зрения его сильных сторон.</p>	<p>1. Диверсификация потребительского портфеля в сторону предприятий и областей производства.</p>

4.2 Планирование исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе составим перечень этапов и работ в рамках проведения исследования, проведем распределение исполнителей по видам работ.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель проекта
	2	Календарное планирование работ по теме	Руководитель проекта, исполнитель
Выбор направления исследований	3	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель
	4	Проведение патентных исследований	Исполнитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Исполнитель
	6	Построение 3D-модели конструкции механизма и проведение расчетов	Исполнитель

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Обобщение и оценка	7	Оценка результатов исследования	Руководитель проекта, исполнитель
Оформление пояснительной записки	8	Составление пояснительной записки	Руководитель проекта, исполнитель

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников исследования.

Трудоемкость выполнения исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т. к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 3t_{\max\ i}}{5}, \quad (1)$$

Где: $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн. ;

$t_{\min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65%.

$$T_{p\ i} = \frac{t_{ож\ i}}{ч_i}, \quad (2)$$

Где: $T_{p\ i}$ – продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $ч_i$ – численность

исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.2.3 Разработка графика проведения исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot K_{\text{кал}}, \quad (3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$K_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4)$$

Где $T_{\text{кал}} = 365$ – количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}} = 52$ – количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}} = 14$ – количество праздничных дней в году.

$$K_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22,$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} округляем до целого числа. Все рассчитанные значения сведены в таблице 6.

Таблица 6 – Временные показатели проведения исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнитель	Длительность работ в рабочих днях, T_{pi}	Длительность работ в календарных днях, T_{ki}
	t_{min} , чел.дн	t_{max} , чел.дн	$t_{ож}$, чел.дн			
Составление и утверждение технического задания	1	3	1,8	Руководитель проекта	2	3
Календарное планирование работ по теме	1	3	1,8	Руководитель проекта	2	3
Подбор и изучение материалов по теме	10	15	12	Исполнитель	12	15
Проведение патентных исследований	3	6	4,2	Исполнитель	5	7
Проведение теоретических расчетов и обоснований	8	16	11,2	Исполнитель	12	15
Построение 3Dмодели предложенной конструкции и проведение расчетов	7	10	9,8	Исполнитель	10	13
Оценка результатов исследования	4	8	5,6	Руководитель проекта, исполнитель	5	7
Составление пояснительной записки	8	16	11,2	Руководитель проекта, исполнитель	8	10

На основе таблицы 4 строим план график, представленный в таблице 7.

Таблица 7 – Календарный план график проведения исследования.

№ раб.	Вид работ	Испол- нители	T_{ki} , ка л. дн .	Продолжительность выполнения работ											
				Фев.		Март			Апрель			Май			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение тех. задания	Р	3												
2	Календарное планирование работ по теме	Р, И	3	<div></div>											
3	Подбор и изучение материалов по теме	И	15		<div></div>										
4	Проведение патентных исследований	И	7			<div></div>									
5	Выполнение расчета	И	15				<div></div>								
6	Построение 3Dмодели и проведение прочностного расчета	И	13					<div></div>							
7	Анализ полученных результатов	И	3							<div></div>					
8	Оценка результатов исследования	Р, И	7								<div></div>				
9	Составление пояснительной записки	Р, И	10									<div></div>			

4.3 Бюджет исследования

При планировании бюджета исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета исследования используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты исследования;
- затраты на оборудование для проведения работ;
- основная заработная плата исполнителей;
- дополнительная заработная плата исполнителей;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

4.3.1 Расчет материальных затрат исследования

Материальные затраты и затраты на специальное оборудование в данном техническом исследовании отсутствуют в связи с тем, что изготовление опытного образца не производится.

Для него проведения исследования необходимо использование компьютера с установленным специальным программным обеспечением.

Затраты на покупку компьютера и специального программного обеспечения:

$$З = d_k + d_{по} = 35000 + 14000 = 49000 \text{ рублей} \quad (5)$$

где d_k – стоимость компьютера, рублей; $d_{по}$ – стоимость программного обеспечения, рублей.

Прочие расходы сведены в таблице 8.

Таблица 8 – Прочие расходы

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед. руб.	Прочие расходы, (З _{пр}), руб.
Ручка	Шт.	4	40	160
Бумага	Шт.	200	3	600

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед. руб.	Прочие расходы, (З _{пр}), руб.
Карандаш	Шт.	3	20	60
Электроэнергия	Квчас	200	5,8	1160
Итого:				1982

4.3.2 Основная заработная плата исполнителей

Статья расходов включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением исследования, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (6)$$

Где $З_{осн}$ – основная заработная плата; $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20% от $З_{осн}$).

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (7)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника; T_p – продолжительность работ, выполняемых техническим работником, раб. дн.; $З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (8)$$

Где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб., M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 58 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени технического персонала, раб. дн.

Среднедневная зарплата руководителя проекта:

$$З_{дн} = \frac{26300 \cdot 10,4}{236} = 1159,$$

Среднедневная заработная плата исполнителя:

$$З_{\text{дн}} = \frac{17000 \cdot 10,4}{204} = 867,$$

Таблица 9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель проекта	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: - выходные - праздничные	5326	5326
Потери рабочего времени: - отпуск - невыходы по болезни	5812	7210
Действительный годовой фонд рабочего времени	236	204

Заработная плата по тарифной ставке:

$$З_{\text{тс}} = З_{\text{м}} \cdot (1 + k_{\text{пр}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (9)$$

где $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т. е. 30 % от $З_{\text{тс}}$); $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 для г.Томска.

Заработная плата по тарифной ставке для руководителя проекта:

$$З_{\text{тс}} = 26300 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 44447 \text{ рублей},$$

Заработная плата по тарифной ставке для исполнителя проекта:

$$З_{\text{тс}} = 17000 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 28730 \text{ рублей}$$

Тарифная заработная плата $З_{\text{тс}}$ находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{\text{с1}} = 600$ руб. на тарифный коэффициент $k_{\text{т}}$ и учитывается по единой для бюджетной организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	З _{тс} , руб.	k _{пр}	k _р	З _м , руб.	З _{дн} , руб.	Т _р , раб. Дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель проекта	44447	0,3	1,3	26300	1159	23	34076
Исполнитель	28730	0,3	1,3	17000	867	72	68952
Итого З _{осн} :							103028

4.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т. д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (10)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12-0,15).

Дополнительная заработная плата для руководителя проекта:

$$З_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 34076 = 4090 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата для исполнителя:

$$З_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 68952 = 8275 \text{ руб.}$$

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (11)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Отчисления во внебюджетные фонды руководителя проекта:

$$З_{внеб} = 0,3 \cdot (34076 + 4090) = 11450 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды руководителя проекта:

$$З_{внеб} = 0,3 \cdot (68952 + 8275) = 23168 \text{ руб.}$$

4.3.5 Формирование бюджета затрат исследования

Таблица 11 – Расчет бюджета затрат исследования

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	103028
2. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	12365
3. Отчисления во внебюджетные фонды	34618
4. Затраты на покупку компьютера и ПО	49000
5. Материальные затраты	1980
6. Бюджет затрат исследования	200991

Рассчитанная величина затрат исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

4.4 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности исследования. Интегральный показатель эффективности исследования получают в ходе оценки затрат трех вариантов исполнения исследования. Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (12)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – балльная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 12 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэф.	Тележка на магнитных колесах	Каретка с промежуточно й опорной поверхностью	Цепной механизм
1. Простота конструкции	0,15	5	4	4
2. Универсальность использования	0,15	3	5	4
3. Надежность	0,15	4	4	4
4. Легкость установки	0,20	5	5	4
5. Скорость контроля	0,15	3	5	4
6. Срок службы	0,20	5	5	3
Итого:	1	4,17	4,87	3,83

Рассчитываем показатель ресурсоэффективности для крепления конструкции каретки детекторного модуля при помощи:

Тележка на магнитных колесах: $I_{p1} = 3,75$;

Каретка с промежуточной опорной поверхностью: $I_{p2} = 4,2$;

Цепной механизм: $I_{p3} = 3,45$.

В результате полученных расчетов показателя ресурсоэффективности для различных конструкций детекторного модуля, исходя из значения наибольшего коэффициента интегральности, можно сделать вывод о том, что крепление оборудования к трубопроводу при помощи каретки с

промежуточной опорной поверхностью является наиболее эффективным и сохраняет высокую конкурентоспособность

В ходе выполнения данной части выпускной квалификационной работы была проанализирована конкурентоспособность применения метода цифровой рентгенографии, в совокупности с системой орбитального перемещения для проведения контроля кольцевых сварных швов магистральных трубопроводов. Был произведен SWOT-анализ, а также был посчитан бюджет исследования, равный 200991 руб., основная часть которого приходится на затраты по основной заработной плате исполнителей темы.

5 Социальная ответственность

Обеспечение надежной и безопасной эксплуатации системы магистральных трубопроводов является важнейшей задачей нефтегазовой отрасли страны. Для осуществления комплексной оценки текущего технического состояния трубопроводов наряду с существующими методами неразрушающего контроля внедряются автоматизированные системы орбитального перемещения, применение которых позволит предотвратить возникновение аварийных ситуаций при эксплуатации системы трубопроводов и обеспечить безопасность жизни и здоровью сотрудников, а также экологической обстановки окружающей среды.

Объектом исследования каретка орбитального перемещения по промежуточной опорной поверхности для размещения дефектоскопического оборудования при диагностировании кольцевых сварных швов магистральных нефтегазопроводов. Основные направления магистральны трубопроводов расположены в северных широтах Российской федерации. Колебание температуры в местах проведения работ от минут 50 до плюс 40 °С. Климат континентальный период проведения работ круглогодичный.

В соответствии с ФЗ №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» магистральные трубопроводы относятся к опасным объектам. Дефектоскопия трубопроводов подразумевают взаимодействие специалистов сервисных компаний с опасными производственными факторами, в связи с чем возникает необходимость в строгом нормировании условий труда, проведении мероприятий по уменьшению воздействий вредных и опасных факторов на специалистов неразрушающего контроля и окружающую среду [28].

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно ПБ 03-440-02 «Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля», к проведению неразрушающего контроля опасных производственных объектов допускаются лица, достигшие 18-летнего возраста, которые прошли медицинский осмотр и не имеют противопоказаний, имеют документы о прохождении аттестации, прошедшие инструктаж по технике безопасности. В соответствии с федеральным законом РФ от 28.12.2013 № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда», специалисты неразрушающего контроля сталкиваются с вредными условиями труда [29].

Рабочая зона сотрудников сервисной компании подразумевает возможное воздействие на них радиационного излучений, отклонений климата в рабочей зоне и при работе на открытом воздухе и другие вредные и опасные факторы. Компенсация за вредные условия труда и ее размер устанавливается на основании статей трудового кодекса, коллективного договора или иных внутренних документов предприятия. Законодательством предусмотрено, что люди, работающие в опасных условиях, могут получать такие гарантии и компенсации:

- уменьшение количества рабочих часов до 36 часов в неделю и меньше (в зависимости от режима работы – вахтовый, постоянный);
- оплачиваемый отпуск, являющийся дополнительным и предоставляемым каждый год (не меньше 7 календарных дней);
- надбавка за вредность в размере не меньше 4% от оклада;
- бесплатное лечение и оздоровление;
- выдача спецодежды и средств индивидуальной защиты.

Поскольку проведение неразрушающий контроль осуществляется непосредственно на дефектном участке трубопровода, организация рабочей зоны выполняется в ходе подготовительных работ. При работе в котловане специалист неразрушающего контроля обязан убедиться в качестве

выполненных земляных работ и проверить наличие загазованности в воздухе рабочей зоны. Должен быть обеспечен удобный доступ к диагностируемому участку трубопровода. Необходимо наличие не менее 4-х лестниц, защитных ограждений, отсутствия техники на краю котлована.

Обработка персональной информации работника подразумевает соблюдение определенных правил. Целью соблюдения правил является обеспечение прав и свобод гражданина и человека. Выполнять требования по обработке должны работодатель и его представитель, выполняющий эти обязанности. Требования к защите персональных данных работника установлены в 14 главе Трудового Кодекса РФ.

5.2 Производственная безопасность

В таблице 13 представлен перечень опасных и вредных факторов, которые могут возникнуть при проведении диагностики трубопроводов методом рентгеновского неразрушающего контроля согласно ГОСТ 12.2.003-2015 [30].

Таблица 13 – Опасные и вредные факторы при проведении диагностики трубопроводов.

Факторы (Гост 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Отклонение показателей климата на открытом воздухе	+	+	+	Требования к уровню шума устанавливаются ГОСТ 12.1.003–2014 Требования к вибрации устанавливаются ГОСТ 12.1.012–2004 Классификация и требования к вредным веществам приведены в ГОСТ 12.1.007–76 Требования к микроклимату рабочей среды устанавливаются СанПиН 2.2.4.548-96 Предельно допустимые значения напряжений устанавливаются ГОСТ 12.1.038–82
Повышенный уровень шума и вибрации		+	+	
Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу;			+	
Повышенная загазованность рабочей зоны.			+	
Опасность поражения электрическим током;	+	+	+	
Опасность механических повреждений.		+	+	

5.2.1 Анализ вредных производственных факторов и мероприятия по их устранению

Вредными производственными факторами называются факторы, отрицательно влияющие на работоспособность или вызывающие профессиональные заболевания.

Повышенная загазованность рабочей зоны

Главным источником загазованности рабочей зоны является скопление вредных и взрывопожароопасных веществ, образующиеся при работе, связанной с осмотром, чисткой и ремонтом технологического оборудования, а также с установкой и снятием заглушек, что может вызвать отравление парами углеводородов и ожоги при возгорании смеси. Также выделение газов на наружных площадках и в помещениях может произойти через не плотности фланцевых соединений, пропуск газа в сальниках, из-за разрушений трубопроводов, не плотностей в оборудовании.

Для предотвращения воздействия на работников загазованности, соответствие с ГН 2.2.5.552-98 работники перед проведение работ, а также периодически во время проведения работ контролировать состояние рабочей воздушной среды с помощью газоанализаторов [31].

Предельно-допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, которые могут появиться при проведении диагностики трубопроводов, представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м ³	Класс опасности
Углеводороды алифатические предельные C1 – C10	300	IV
Бензин – растворитель (в пересчете на углерод)	300	IV
Керосин (в пересчете на углерод)	300	IV

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м ³	Класс опасности
Сероводород в смеси с углеводородами C1 – C2	3	II
Нефть сырая	10	III
Углекислый газ	9000	IV

Мероприятия по снижению негативного воздействия вредных веществ на персонал:

- исключение источников появления вредных веществ (соблюдение правил эксплуатации, противокоррозионная защита, своевременная замена уплотнений оборудования и запорной арматуры);
- применение газоанализаторов для контроля загазованности;
- применение принудительной вентиляции для снижения их концентрации в воздухе рабочей зоны;
- использование средств индивидуальной защиты: противогазы, респираторы, спецодежда, изолирующие костюмы, рукавицы, перчатки, очки, маски.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

Уровень освещения влияет не только на функционирование зрительного аппарата специалиста, но и на его физическое и психоэмоциональное состояние. При чрезмерном или же недостаточном освещении значительно снижается работоспособность производителя диагностических работ в связи с ухудшениями условий труда. Так, согласно европейскому стандарту EN 13018:2001, перед проведением визуально-измерительного контроля участка трубопровода должна быть обеспечена освещенность не менее 160 люкс для обзорного визуального контроля и не менее 500 люкс для локального визуального контроля.

Для компенсации недостаточной освещенности в светлое время суток используют комбинацию естественного и искусственного освещения, в темное время суток пользуются искусственным освещением согласно СП 52.13330.2011. В процессе идентификации обнаруженных дефектов и определения их параметров с применением методов неразрушающего контроля

используют источники местного освещения. Для этого применяются переносные светильники на аккумуляторе во взрывозащищенном исполнении [32].

Повышенный уровень ионизирующего излучения

При проведении радиографического контроля на строительстве магистральных трубопроводов во избежание поражения электрическим током и опасного воздействия на обслуживающий персонал ионизирующего излучения и вредных газов, образующихся в воздухе под действием излучения, необходимо строго соблюдать правила техники безопасности, установленные следующими нормативными документами:

- «Основными санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений», СП 2.6.1.799-99 [33];
- «Нормами радиационной безопасности» СанПиН 2.6.1.2523-09, [34];
- «Правилами безопасности при транспортировке радиоактивных веществ», НП-053-04;
- «Санитарными правилами по радиоизотопной дефектоскопии», СП 2.6.1.3241-14;

Основные требования безопасности при производстве работ по радиографическому контролю:

Организации, где проводятся работы по радиографическому контролю, должны иметь разрешение на право производства данного вида работ, которое выдается местными органами санитарного надзора.

Помещения для радиографического контроля (в том числе дефектоскопические лаборатории), хранилища для радиоактивных веществ должны быть оборудованы согласно «Основным санитарным правилам работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» СП 2.6.1.799-99 и «Санитарным правилам по радиоизотопной дефектоскопии» СП 2.6.1.3241-14.

Радиографический контроль и перезарядка радиоактивных источников должны проводиться с использованием специально предназначенной для этих целей и находящейся в исправном состоянии аппаратуры.

До начала эксплуатации рентгеновских аппаратов и гамма-дефектоскопов администрация организации (предприятия) обязана на основе СП 2.6.1.799-99 разработать инструкции по радиационной безопасности, устанавливающие действие персонала, порядок проведения работ по радиоизотопной дефектоскопии, учета, хранения и выдачи источников излучения, содержания помещений и т.д..

К работе по проведению радиографического контроля допускаются лица, прошедшие специальный медицинский осмотр, инструктаж по технике безопасности и сдавшие экзамен по безопасному ведению работ в установленном порядке.

Лица, временно привлекаемые к работам, связанным с использованием рентгеновских аппаратов гамма-дефектоскопов, должны быть обучены правилам безопасности при работе с источниками ионизирующего излучения и допущены по медицинским показаниям.

Периодическая проверка знаний обслуживающим персоналом инструкций по технике безопасности и радиационной безопасности должна производиться не реже одного раза в год одновременно с периодическими проверками квалификации персонала.

Все имеющиеся в наличии рентгеновские аппараты и гаммадефектоскопы, поступившие на предприятие, должны регистрироваться в соответствии с СП 2.6.1.799-99.

К моменту получения рентгеновских аппаратов, гамма-дефектоскопов администрация должна назначить ответственное лицо, следящее за учетом, хранением и врачей этого оборудования, а также назначить ответственного за радиационную безопасность и электробезопасность.

Перезарядка гамма-дефектоскопов (перемещение держателей с источниками из транспортно-перезарядных контейнеров в радиационные

головки и обратно) должна производиться в соответствии с требованиями СП 2.6.1.799-99 в специальных помещениях при наличии штатных дистанционных приспособлений заводского изготовления.

Хранение и перезарядка гамма-дефектоскопов с источниками вне специально оборудованных мест запрещается.

Переносные гамма-дефектоскопа следует хранить в специальных помещениях-хранилищах, которые закрываются под ключ и опечатываются.

В организациях, где проводятся работы с применением источников ионизирующего излучения, должен осуществляться дозиметрический контроль, который обеспечивает соблюдение норм радиационной безопасности и получение информации о дозе облучения персонала.

Данные радиационного контроля записывают в специальный журнал.

Индивидуальный контроль за дозой внешнего облучения ведется с помощью индивидуальных дозиметров.

При проверке принимаются наибольшие показания дозиметров.

Данные о дозах облучения (переоблучения) персонала и эффективности средств защиты необходимо немедленно сообщить органам местной СЭС и администрации организации, а также контролирующему санитарному врачу (по его требованию) для принятия мер к уменьшению доз облучения.

Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу

Главным источником формирования данного фактора является возможная разгерметизация трубопроводов или оборудования в процессе работы, что может вызвать отравление парами углеводородов.

В целях достижения безопасности персонала необходимо соблюдать требования:

- допуска персонала, имеющего специальную подготовку, определенную требованиями норм и правил и квалификацию;
- безопасных приемов и методов труда;
- мер газовой и пожарной безопасности;

- по применению средств индивидуальной защиты, средств пожаротушения с отработкой приемов их использования,
- к спецодежде из термостойких и антистатических материалов и индивидуальным средствам защиты.

Повышенный уровень шума и вибрации

В настоящее время эксплуатация подавляющего большинства технологического оборудования неизбежно связана с возникновением шумов и вибраций различной частоты и интенсивности, оказывающих весьма неблагоприятное воздействие на организм человека.

Допустимые шумовые характеристики рабочих мест регламентируются ГОСТ 12.1.003-2014. В соответствии с требованиями ГОСТ громкость ниже 80 дБ не влияет на органы слуха [36].

Длительное действие шума > 85 дБ приводит к постоянному повышению порога слуха, к повышению кровяного давления.

Вибрация - это механические колебания твёрдых тел - частей аппаратов, машин, оборудования, воспринимаемое организмом человека как сотрясения. Часто вибрации сопровождаются шумом.

Гигиенические допустимые уровни вибрации регламентирует ГОСТ 12.1.012-2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования» [37].

Нормируемые параметры вибрации – среднеквадратичные значения виброскорости в м/с или её логарифмические уровни в дБ в октавных полосах частот. Базовая частота предельного спектра для общей вибрации равна 63 Гц (95 дБ), для локальной - 125 Гц (110 дБ).

В производственных условиях с целью предотвращения вредного воздействия шума и вибрации на организм человека необходимо всегда добиваться, чтобы уровни шума и вибрации не превышали допустимых значений. Снижение шума и вибрации можно достичь следующими методами:

- уменьшение шума и вибрации в источнике их образования;
- изоляция источников шума и вибрации средствами звукоизоляции и звукопоглощения, виброизоляции и вибродемпфирования;

- применение средств индивидуальной защиты.

Средства защиты от шума подразделяют на две группы: вкладыши, вкладываемые в устье слухового аппарата, и наружные противошумы - наушники, шлемы, накладываемые на ушную раковину. Наиболее эффективны вкладыши «Беруши», позволяющие снижать уровень звука на различных частотах от 15 до 30 дБ.

Отклонение показателей микроклимата в рабочей зоне

Операторы автоматизированных рентгеновских систем производят управление устройствами в мобильных автолабораториях. Для обеспечения работоспособности специалистов в автолабораториях должны соблюдаться необходимые показатели микроклимата, такие как относительная влажность, интенсивность теплового излучения от нагретых поверхностей, барометрическое давление, скорость движения и температура воздуха и т.д. Согласно СанПиН 2.2.4.548-96, на рабочем месте должна поддерживаться температура от +21 до +23 °С в холодное время года и от +22 до +24 °С – в теплое. Относительная влажность должна находиться в пределах 40÷60%. Чтобы обеспечить оптимальное сочетание параметров микроклимата, используют системы вентиляции и отопления [38].

Работающие в зимний период года на открытом воздухе должны быть обеспечены спецодеждой с теплозащитными свойствами. При температуре воздуха минус 40 °С и ниже необходима защита органов дыхания и лица. В летний период работающие должны быть обеспечены головными уборами исключающие перегрев головы от солнечных лучей. Постановление Администрации Томской области от 11.02.2011 г. №29а регламентирует следующие погодные условия, при которых работы на открытом воздухе работодателями приостанавливаются (таблица 15).

Таблица 15 – Условия организации работ в холодный период года на открытом воздухе

Скорость ветра, м/с	Температура воздуха, °С
0	-36
0–5	-35
5–10	-34
Свыше 10	-32

5.2.2 Анализ опасных производственных факторов и мероприятия по их устранению

Опасный производственный фактор - фактор среды и трудового процесса, который может быть причиной травмы, острого заболевания или внезапного резкого ухудшения здоровья, смерти.

Движущиеся машины и механизмы

В процессе установки внутритрубного снаряда-дефектоскопа возможен производственный травматизм рабочей бригады вследствие подвижных частей производственного оборудования, перемещений оборудования при монтаже и демонтаже, острых кромок и заусенцев на поверхностях оборудования, использования подъемных кранов для подачи дефектоскопа в камеру пуска и приема средств очистки и диагностики и т.д. Требования, предъявляемые к производственному оборудованию, подробно описаны в ГОСТ 12.2.003-91 [39].

Для предотвращения производственного травматизма рабочий персонал должен знать и соблюдать технику безопасности при работе с нефтегазовым оборудованием, а также быть обеспеченным необходимыми средствами индивидуальной защиты: рабочая одежда, перчатки, каски и т.д.

Поражение электрическим током

Источниками поражения от электрического тока при диагностике трубопроводов являются электрические привода для подачи питания на дефектоскопические приборы и устройства.

Причины поражения электрическим током: прикосновение к токоведущим элементам, ошибочные действия персонала, нарушение изоляции токоведущих элементов, метеорологические условия (удар молнии) и аварийные ситуации. Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока проявляются в виде электротравм и профессиональных заболеваний. Требования, предъявляемые к электробезопасности производственных процессов, подробно описаны в ГОСТ Р 12.1.019.2009. Предупреждение электротравматизма на объектах достигается выполнением следующих мероприятий:

- применение защитного зануления, защитного заземления, защитного отключения;
- обеспечение изоляции, ограждение и недоступность электрических цепей;
- использование предупредительных плакатов и знаков безопасности;
- установка молниеотводов;
- проведение инструктажей и обучения персонала безопасным методам работы с электроприборами;
- использование средств индивидуальной защиты: диэлектрических перчаток и бот, диэлектрических резиновых ковров, инструментов с изолированными ручками [40].

Оборудование и трубопроводы, работающие под давлением

При диагностировании дефектных участков трубопровода, находящегося в эксплуатации, основной опасностью является возможное разрушение трубопровода под действием транспортируемой продукции. Следствием аварии могут стать пожар, гибель людей, приведение оборудования в негодное состояние, утечка транспортируемого продукта, что также негативно отразится на окружающей среде.

Для предотвращения возникновения аварийных ситуаций и инцидентов проводят комплексное диагностирование технического состояния

трубопроводов с целью обнаружения дефектов геометрии труб, потери металла и трещин в сварных швах. В случае аварии трубопровод должен быть немедленно остановлен и отключен до обнаружения причины аварии и ее устранения аварийной бригадой [41].

5.3 Экологическая безопасность

5.3.1 Воздействия объекта на атмосферу

Перекачиваемое по трубопроводам углеводородное сырье и иные загрязняющие вещества, содержащиеся в скважинной продукции, могут попадать в атмосферу в результате образования сквозных отверстий, свищей в теле трубопровода и выхода транспортируемой продукции в окружающую среду. Также загрязнение атмосферы происходит при плановых остановках объектов подготовки нефти и газа и опорожнение технологических трубопроводов.

Для защиты атмосферы от негативного воздействия токсичный и загрязняющих веществ проводятся следующие мероприятия:

- проверка оборудования на прочность и герметичность;
- соблюдение согласованных технологических режимов работы оборудования;
- своевременная замена уплотнений оборудования и запорной арматуры;
- проведение диагностики трубопроводов на наличие утечек и их устранение.

5.3.2 Воздействия объекта на гидросферу

В процессе идентификации дефектов по результатам диагностического обследования трубопроводов возможен выход скважинной продукции в грунтовые воды, либо водный объект, если авария произошла на подводном переходе.

Для предотвращения аварийных ситуаций и загрязнения гидросферы подводные переходы и трубопровод в целом должен быть продиагностирован методами внутритрубной дефектоскопии, с применением водолазных

дефектоскопических работ и при помощи самодвижущихся робототехнических систем.

5.3.3 Воздействия объекта на литосферу

При подготовке трубопроводов к пропуску внутритрубных дефектоскопических снарядов производят очистку внутренней полости трубопровода с применением очистных скребков. После пропуска очистных скребков в камеру приема очистных средств поступают внутритрубные отложения (например, парафины, механические примеси, продукты коррозии и т.д.), которые являются возможным источником загрязнения литосферы. Также в результате ремонтных работ образуется большое количество отходов производства.

Для защиты литосферы от загрязнения все отходы подлежат селективному сбору и последующей утилизации в соответствии с ГОСТ Р 57677-2017 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Ликвидация отходов недропользования» [42].

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) - это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

При проведении технического диагностирования трубопроводов вероятно возникновения чрезвычайных ситуаций:

- выход углеводородов;
- возгорание углеводородов;
- природные чрезвычайные ситуации.

5.4.1 Чрезвычайные ситуации техногенного характера

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации при проведении работ по дефектоскопии на работающем объекте возможны в следствие обнаружение

дефектов приводящих к выходу углеводородов или остаточному состоянию загазованности атмосферы в котловане с превышение допустимых значения концентрации углеводородов после проведения ремонтных работ. При использовании инструмента и оборудование с электродвигателем возможно образование иск, что в сочетании с вышеупомянутыми факторами может привести к возгоранию паров углеводородов.

Для уменьшения вероятности возникновения чрезвычайной ситуации в виде пожара или выхода углеводородов проводятся следующие мероприятия:

- При проведении ремонтных или дефектоскопических работ исполнители должны неукоснительно соблюдать правила и требования по работе с оборудованием и приборами, а также использовать газоанализатор для определения концентрации углеводородов в рабочей зоне. При превышении ПДК работники должны покинуть место работы до устранения причин повышения загазованности.

- При обнаружении критического дефекта по результатам диагностики, способного вызвать аварию, необходимо прекратить работы и сообщить руководству.

- Для предотвращения возможности возникновения пожара используют пожаробезопасное взрывозащищенное оборудование. Работники должны использовать спецодежду со специальными пропитками, прошитую антистатической нитью, а также проводятся в обязательном порядке инструктажи по пожароопасным работам. При возникновении пожара необходимо сообщить о происшествии ближайшему пожарному расчету, руководству и по возможности произвести тушение пожара средствами первичного пожаротушения (ГОСТ Р 51017-2009), сохраняя приоритет жизни и здоровью.

5.4.2 Чрезвычайные ситуации природного характера

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуаций природного характера является удар молнией.

- Для обеспечения безопасности людей и сохранности зданий, сооружений и оборудования от разрушения, загорания и взрывов при ударах молнии предпринимаются следующие меры:

- Для уменьшения вероятности повреждения оборудования, возгорания и накопления статического электричества производят заземления оборудования и передвижной лаборатории.

- При природных явлениях, несущие угрозу жизни и здоровью работников, а также безопасному проведению работы необходимо остановить работы и переместиться в безопасное место, обеспечив сохранность оборудования.

Сохранение качественной жизни и здоровья человека является основой цивилизованного мира. При производстве работ обязательным составляющей является проведения комплекс мероприятий по защите человека, окружающей среды и имущественных ценностей. Основными выделенными вредными и опасными факторами является загазованность рабочей зоны, а также возможное повышенное ионизирующее излучение. Описан ряд мероприятий необходимый для обеспечения безопасных производственных условий.

Заключение

Результатов моделирования показывают, что на каретке с дефектоскопом с двумя площадками во время перемещения происходит неравномерное распределение нагрузки между упорными роликами по сравнению с кареткой с тремя площадками. В среднем значение максимальной нагрузки на наиболее нагруженный упорный ролик больше в 1,9 раза. Это приводит к значительно большему износу и уменьшению срока службы роликов. Компоновка каретки с тремя площадками предпочтительнее. Также, возможным решением проблемы повышенного износа роликов на уже выпущенном оборудовании будет установка роликов большего размера.

Список используемых источников

1. Транснефть. Развитие трубопроводной системы – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.transneft.ru/about/development-system/396/>. Дата посещения: 10.04.2020;
2. Богданов Е.А. Основы технической диагностики нефтегазового оборудования: учебное пособие для вузов, Е.А. Богданов. – М.: Высшая школа, 2006. – 279 с;
3. Маслов Б.Г. Неразрушающий контроль сварных соединений и изделий в машиностроении: учебное пособие, Б.Г. Маслов. – М.: Академия, 2008. – 272 с;
4. Ключев В.В. Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т., В.В. Ключев. – 2-е издание, переработанное и исправленное. – М.: Машиностроение, 2006-2008;
5. Пархоменко П.П., Сагомоян Е.С. Основы технической диагностики. – М.: Энергоиздат, 1981. – 308 с;
6. ГОСТ 18353-79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов;
7. Биргер И.А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с;
8. РД 03-606-03. Инструкция по визуальному и измерительному контролю;
9. Ермолов И.Н., Останин Ю.Я. Методы и средства неразрушающего контроля качества: учеб. пособие для инженерно-техн. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1988. – 368 с;
10. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения;
11. ГОСТ 18442-80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования;
12. ГОСТ Р 55724-2013. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые;

13. Выборнов Б.И. Ультразвуковая дефектоскопия – М.: Металлургия, 1985. – 256 с;
14. Ермолов И.Н., Ермолов М.И. Ультразвуковой контроль. Учебник для специалистов первого и второго уровня квалификации. Издание пятое, стереотипное. – М.: Высшая школа, 2006. – 208 с;
15. Назипов Р.А., Храмов А.С., Зарипова Л.Д. Основы радиационного неразрушающего контроля. Учебно-методическое пособие для студентов физического факультета. – Казань: Изд-во Казанск. гос. ун-та, 2008. – 66 с.: ил;
16. ГОСТ 24034-80. Контроль неразрушающий радиационный;
17. ГОСТ 23764-79. Гамма-дефектоскопы. Общие технические условия;
18. ГОСТ Р 54907-2012. Техническое диагностирование. Основные положения;
19. Ермолов И.Л., Мор Ф.Р., Подураев Ю.В., Шведов В.В. Мобильные роботы для инспекции и ремонта подземных трубопроводов: современное состояние и перспективы развития. Мехатроника. – М.: Высшая школа, 2000;
20. РД-08.00-60.30.00-КТН-046-1-05. Неразрушающий контроль сварных соединений при строительстве и ремонте магистральных нефтепроводов;
21. Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В. Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. – М.: Машиностроение, 1999. – 163 с;
22. Самоходные импульсные рентгеновские аппараты. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.spectroflash.ru/info/articles/288/299/>;
23. ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод;

24. Переносной комплекс цифровой радиографии «ТРАНСКАН» – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ncontrol.ru/catalog/rentgenovskiy_kontrol/rentgenotelevizionnye_ustanovki/perenosnoj_kompleks_cifrovoj_radiografii_transkan. Дата посещения: 18.04.2020;
25. «CRC-EVANS» – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.crc-evans.com/onshore/technology/welding-machines>. Дата посещения: 18.04.2020;
26. Контроль сварных соединений — Моторизованный однокоординатный сканер – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.olympus-ims.com/ru/scanners/weldrover/>. Дата посещения: 18.04.2020;
27. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с;
28. ФЗ №116 «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»;
29. ПБ 03-440-02 «Правила аттестации персонала в области неразрушающего контроля»;
30. ГОСТ 12.0.003-2015. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;
31. ГН 2.2.5.552-96. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы;
32. СП 52.13330.2011, «Естественное и искусственное освещение»;
33. СП 2.6.1.799-99, «Основными санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений»;
34. СанПиН 2.6.1.2523-09, «Нормами радиационной безопасности»;
35. СП 2.6.1.3241-14, «Санитарным правилам по радиоизотопной дефектоскопии»;

36. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности;
37. ГОСТ 12.1.012-2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования»;
38. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
39. ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
40. ГОСТ Р 12.1.019-2009. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
41. РД 51-2-97. Инструкция по внутритрубной инспекции трубопроводных систем;
42. ГОСТ Р 57677-2017 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Ликвидация отходов недропользования».

Приложение А
(справочное)

**Improving the efficiency of control of welding joints of the main
pipeline by X-ray equipment**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ84	Колесников Сергей Иванович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Симанкин Федор Аркадьевич	Доцент к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Надеина Луиза Васильевна	Доцент к.ф.н.		

Technical diagnostics of pipelines

Various external and internal impacts occur under operating conditions. As a result, material degradation, corrosion damage, cracks that occur on the surfaces of pipes and other types of defects grow and develop. Despite the fact that the design of pipelines with the use of codes and technologies, development and implementation must ensure the use of the assigned resource, to eliminate the possibility of such defects cannot be achieved. In order to avoid serious consequences of growing defects, various studies are carried out; methods of non-destructive testing are applied.

The most universal method of non-destructive testing, which is used in almost all stages of the manufacture of products, is visual and measurement control.

Visually, the measuring control of objects (blanks, parts, semi-finished products) and welded joints is carried out at the following stages:

- input control;
- preparation of parts and assembly units for assembly;
- assembly of parts and assembly units for welding;
- welding process;
- control of finished welded joints and surfacing;
- post-repair stage;
- assessments of the state of the material and welded joints during the operation of technical devices and structures, including after the expiration of the established period of their operation.

A leak is a through defect in a welded joint or structure of an object, the size of which serves to exit the product to the outside. As for defects, they are divided into primary and secondary defects. Primary defects are formed during the formation of a weld; these include fistulas – through pores, elongated in the type of channels, hot cracks and lack of penetration with slag inclusions. Secondary defects are those that appear after some time after welding – fatigue and cold cracks, or, for example, fistula, formed under the influence of aggressive environment or dynamic load.

Defects of welded joints are distinguished for reasons of occurrence and their location. Depending on the causes, they can be divided into two groups. The first group includes structural and thermal defects that occur during the formation of the weld pool and cooling of the weld: hot and cold cracks in the weld metal and the heat-affected zone, slag inclusions, changes in the properties of the weld metal and the heat-affected zone, pores. The second group of defects, which are called defects in the formation of welds, includes defects, the occurrence of which is mainly associated with imperfection of welding, improper preparation and poor-quality incoming inspection, equipment malfunction, and unqualified work of the welder. The defects of this group include the mismatch of the seams with the necessary geometric dimensions, burns, lack of penetration, undercuts, and influxes.

Defects at the location are divided into external and internal. External ones include: violation of the established dimensions and shape of the weld, lack of penetration, undercutting of the fusion zone, surface oxidation, burn-through, sag, surface pores, unwelded craters and cracks on the surface of the weld. Internal defects include the following: internal pores, non-metallic inclusions, lack of penetration and internal cracks. Defects in the shape and size of the welds are their non-uniformity, uneven width and height, tuberosity, saddles, constrictions, etc.

Inflows - are separately frozen drops of metal on the surface of the pipe or significantly extended along the seam of leakage of liquid metal on a cold surface without fusion. Most often, bursts are formed when performing horizontal welds on a vertical plane. In places of influx, lack of fusion, cracks are often detected.

Deepening are oblong grooves (grooves) formed in the base metal along the edge of the seam. They arise as a result of a large welding current and a long arc. Undercuts lead to a decrease in the cross section of the weld and an increase in stress concentration.

Burns - a through hole caused by the leakage of part of the metal from the seam.

Lack of fusion - the place of non-fusion of the base metal or the non-fusion of the individual layers between themselves. Reduce the cross-section of the seam, cause an increased concentration of stress.

Cracks in their size cracks are macro- and microscopic. They can be named longitudinal and transverse relative to the seam, located in the seam or heat-affected zone.

Slag inclusions occur during poor-quality cleaning of surfaces from oxides and contaminants. They are stress concentrators and reduce the cross-section of the seam.

Non-metallic inclusions arise due to low welding current, poor-quality electrodes, contaminated edges and poor cleaning of the weld from slag. If the welding mode is incorrect, the oxides remain in the weld metal in the form of non-metallic inclusions.

Gas pores occur in welds with incomplete exit of gases during crystallization from the weld metal. The pores can be located in the seam in separate groups or as a single void. The method of leak detection is based on the use of a test or control substance as a working product, with the help of which a leak is detected and registered.

The minimum diameter of detectable channels in millimeters determines the degree of sensitivity of the method.

The passage of a liquid or gas through a leak obeys the laws of hydrostatics and hydrodynamics. In this case, the viscosity and molecular weight of the control (trial) substance should be taken into account, since the average diameters of the leak channels are very small.

Various gases and liquids are used as a test substance in various methods. The used gases are: air, nitrogen, helium, halides, ammonia, carbon dioxide, or mixtures of these gases. Control liquids are: water, kerosene, solutions, penetrants and others.

The method of non-destructive testing based on registration of changes in the interaction of the controlled object and the electromagnetic field is called magnetic. For the purposes of the method, an extensive spectrum of electromagnetic fields is

used, ranging from constant electric and magnetic fields to alternating fields with a frequency of tens of MHz.

Using this method, surface and subsurface defects of welded joints are determined, which include discontinuities at a depth of up to 10 mm – incomplete penetration, cracks, gas pores, and slag inclusions.

Information on the presence of defects is obtained by registering and analyzing magnetic stray fields arising above the locations of defects.

The possibility of using magnetic methods to control ferromagnetic materials is based on their properties. In a normal state, in a product made of ferromagnetic material, there are spontaneously magnetized regions arranged in different ways – domains whose fields in this case compensate each other and the resulting magnetic field of the product is equal to zero. Under the influence of the magnetic field, the domains are oriented in the direction of this field, summed up and the part is magnetized. Figure 1 shows the hysteresis loop, which characterizes the magnetization process.

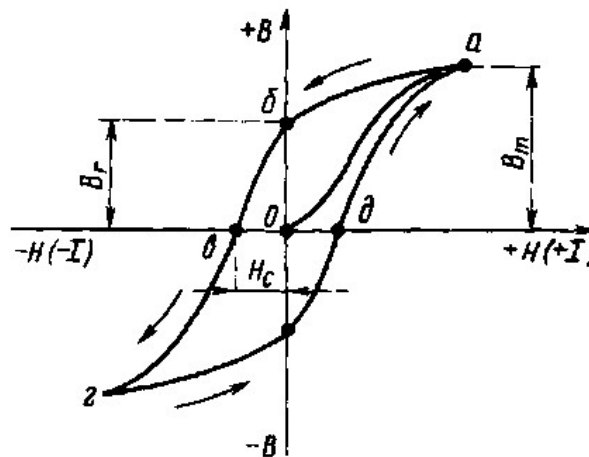


Fig. 1 Hysteresis loop

The magnetic flux in the body of a ferromagnetic material spreads uniformly over the cross section, in case if the material has a solid structure and its magnetic permeability is constant.

The continuity of the material is broken in those places where defects are localized. The resistance exerted by the magnetic flux from the side of the medium

with defects is many times greater, therefore the flow is deflected as if flows around the defect. At this point, the magnetic field thickens and partially extends beyond the limits of the products, spreads through the air, and then enters the product back after the defect. This phenomenon is depicted in figure 2. In those places where the magnetic flux comes from and where it enters, magnetic poles are formed, which also remain after the removal of the magnetizing field due to residual magnetization.

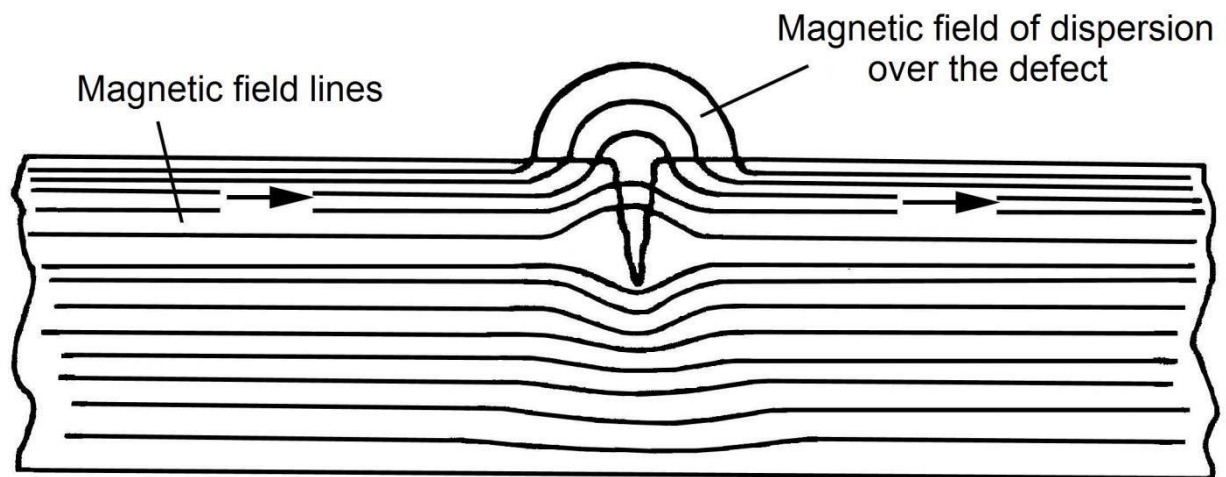


Fig. 2 Power lines in the object with a defect

The magnetic field arising above the defect is called the stray field. If the defect is located perpendicular to the direction of the magnetic flux, then the scattering effect is maximal. Therefore, controlled welded joints are magnetized both in the longitudinal and transverse directions relative to the axis of the seam. This approach allows you to identify defects located both along and across the seam, as well as located at a small angle to it.

Thus, the control by magnetic methods consists in detecting stray fields formed by defects, deciphering the nature and magnitude of the detected defects. Magnetic control methods are classified by registering methods, of which there are more than six: magnetic particle, magnetic, magnetic ferrite, induction and magnetic semiconductor. In distribution in the field of non-destructive testing of welded joints only two methods found its greatest use: magnetic particle, magnetic.

To identify surface defects such as micro cracks and cracks, a capillary control method is used. Such defects come to the surface of the product, they also

include narrow incomplete penetration and small surface pores that are difficult to detect during an external examination.

In particular, this method of non-destructive testing is important for detecting defects in critical welded joints from heat-resistant, austenitic stainless and heatresistant steels, aluminum, brass, whose properties are limited by the possibility of using other methods.

Surface defects of microscopic opening and microscopic extent (with a ratio of not more than 1:10) have the properties of capillaries. In accordance with this, and the method by which they detect such defects is called capillary.

The capillary method is based on the ability of the indicator fluid to penetrate into the cavity of surface and through defects of the material of the test objects. After penetration of the indicator fluid, indicator traces are obtained by visual means or by means of transducers.

The method is used to identify surface and end-to-end discontinuities in the test object, as well as to be able to determine their length, orientation, and location on the surface (for defects such as cracks that have a length).

By changing the contrast of the background and the image of surface defects, defects are detected. For this purpose, special light-contrast and color-contrast indicator fluid – penetrants are used.

A penetrant is applied to the previously cleaned surface from contamination, and then it is kept for some time in order to allow the liquid to fill the defect cavity. Next, the excess indicator liquid is removed and manifesting composition is applied. The liquid that remains inside the defect forms a pattern, over time, at the background according to which the presence of a defect can be considered. The main stages of the control by the capillary method are shown in figure 3.

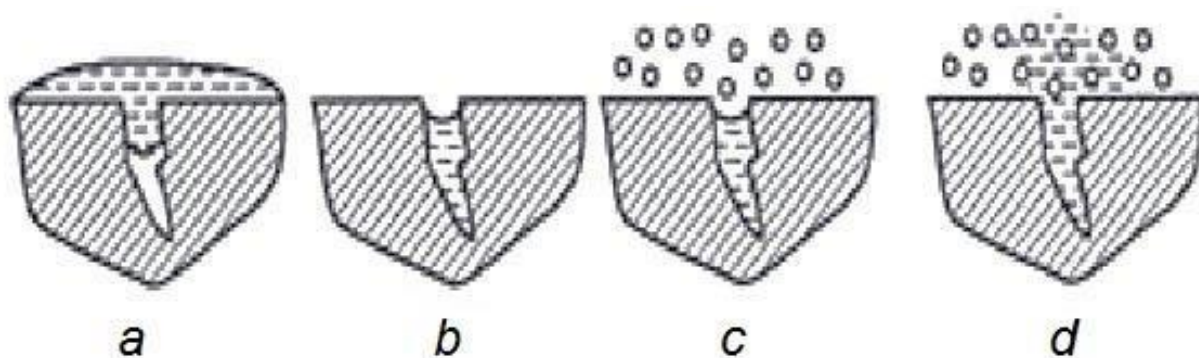


Fig. 3 Stages of capillary control: *a* – application of indicator liquid; *b* – removal of excess;

c – application of the formulation; *d* – the formation of stains at the site of defects

Ultrasonic method

One of the most widely used methods for detecting internal defects in welds is ultrasonic method. This method is based on the ability of ultrasonic waves to penetrate into materials, to be reflected and refracted when two materials with different sound permeability fall on the interface.

Using ultrasound, it is possible to detect internal macroscopic defects in casting, forgings, welding (cracks, shells, slag inclusions, gas pores, lack of penetration, etc.).

Ultrasound is elastic mechanical oscillations of medium particles whose frequency is located outside the audible range, i.e. from 20 kHz to 500 MHz.

Ultrasonic waves can be obtained by mechanical, thermal, piezoelectric and other methods. In ultrasonic flaw detection of metals and welded joints, a piezoelectric method of ultrasound is more often used.

Some natural crystals, for example, quartz, tourmaline, Rochelle salt, and others have a piezoelectric effect. The essence of the piezoelectric effect is that if a plate is cut from these crystals in a certain way, then when a plate is compressed or stretched, an electric charge appears on its surface: positive on one side and negative on the other one. For uniform distribution of electric charges on the surface of the crystals, they are carefully grind, polished and coated with metal.

If elastic mechanical oscillations (ultrasonic waves) affect the piezoelectric crystal plate, an alternating electrical voltage arises at its electrodes with a frequency of ultrasonic vibrations acting on it. The piezoelectric effect is reversible, i.e. if an alternating voltage is applied to the plate cut from the crystal, it begins to oscillate with the frequency of the applied voltage. If the frequency of the applied voltage is higher than 20 kHz, then the plate, oscillating, will emit ultrasonic waves, and their direction is perpendicular to the surface to which the voltage is applied. In the first case, this is called direct, and in the second, the reverse piezoelectric effect. Due to the complexity of processing, natural crystals in ultrasonic flaw detection are replaced by artificial ones, which are made by pressing and sintering, most often from barium titanate powder or lead titanite zirconate.

Ultrasound propagates in a homogeneous medium in the form of a directional wave, which at high frequencies obeys the laws of the light beam, i.e. it is reflected, refracted at the boundary of dissimilar media, and is affected by interference and diffraction.

Waves are reflected from the defect only if their length is commensurate with the defect or more. Otherwise, ultrasonic waves bend around a small discontinuity without significant reflection. Therefore, increasing the sensitivity of the method requires the use of waves of the shortest possible length.

Radiation method

Radiation flaw detection is based on the scanning of objects with ionizing radiation followed by registration and analysis of transmitted radiation by various detectors.

The block diagram of radiation monitoring consists of three main elements:

- ionizing radiation source;
- controlled object (welded joint);
- detector recording flaw detection information.

The block diagram of the radiation monitoring is illustrated in figure 4.

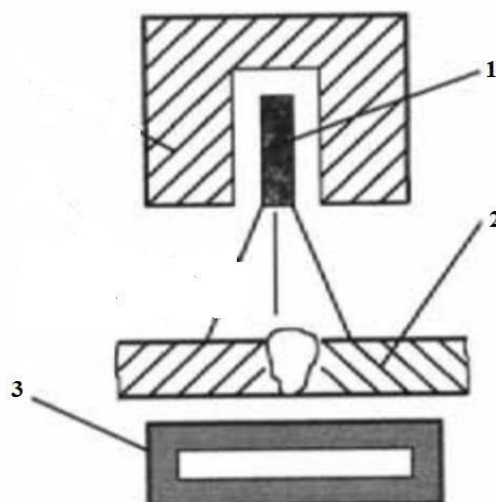


Fig. 4 Radiation monitoring scheme:

1 – X-ray emitter; 2 – object of control; 3 – detector

Passing through the substance of the product, ionizing radiation weakens; this is due to the absorption and scattering of radiation in the material of the object. How much radiation is attenuated depends on the density and thickness of the test object, as well as on the energy of the emitter itself. The radiation intensity during its passage through the gas pore is attenuated less, because the thickness of the product in this place is less. With the passage of radiation, for example, through a tungsten inclusion, which arose during argon-arc welding, its intensity sharply decreases. In other words, the radiation transmitted by the test object carries information about the internal structure of the translucent object, which is represented as a shadow radiation image.

X-ray patterns

Figures 5-7 show the basic diagrams of radiography of welded joints (butt and corner) oil pipelines, process and auxiliary pipelines.

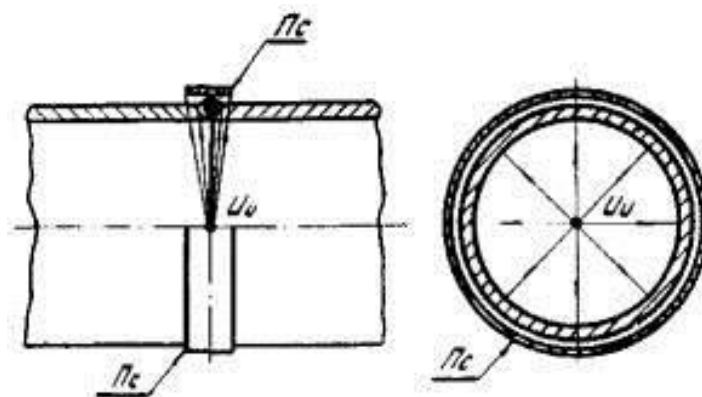


Fig. 5 Panoramic scanning pattern:

Иu – radiation source; *Пc* – receiving device.

Ring seams of pipelines, junctions and pipe assemblies (welding of tees, elbows) shine through one of four schemes depending on the geometric dimensions of the pipes, type and activity of the radiation source used.

Ring welds of welded products, in which free access is possible inside, are monitored for one radiation installation according to the scheme shown in figure 5 (panoramic radiography).

The most common scheme of panoramic radiography is the installation inside the pipe of the radiation source on a moving platform, called a crawler. The radiation receiver, in this case, is installed on the outside of the pipe. Most often, X-raysensitive film acts as a receiver in some way attached to the test object.

The use of scintillator detectors, for example, based on cesium-iodine crystals, is promising as an X-ray detector. Such receivers are constructed similarly to a digital camera matrix and convert the shadow image of the test object into a digital form, more convenient for processing and storage.

Technical characteristics of the crawler are selected on the basis of the following parameters:

- diameter of the tube;
- wall thickness;
- sensitivity control;
- type of ionizing radiation receiver;
- ionizing radiation source;

- rate of construction of the linear part.

Welded connections of pipelines, which for any reason cannot be accessed from the inside, are controlled according to the scheme shown in figure 6 (frontal radiography). Translucence of such seams is carried out through two pipe walls for three or more installations of an ionizing radiation source. With this arrangement, the source and receiver of radiation are located on the outside of the pipe in antiphase to each other. The emitter is adjusted in such a way that the shadow image of the opposite side of the pipe and the seam falls into focus. The part of the seam, located in front of the radiator is eroded and is not registered on the receiver.

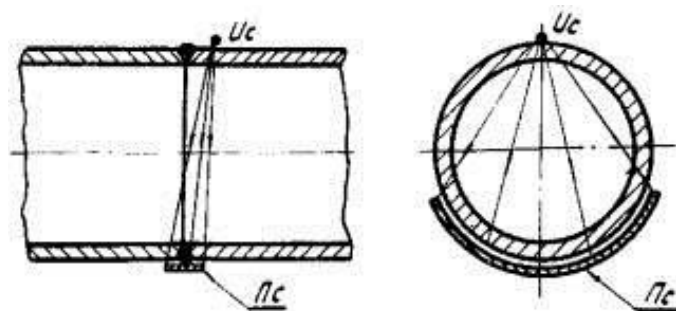


Fig. 6 Frontal scanning pattern

The main parameters of transmission according to the scheme presented in figure 6:

- the radiation source is located directly on the pipe;
- the angle between the direction of radiation and the plane of the weld should not exceed 5° ;
- the focal length should be equal to the outer diameter of the tube;
- the minimum number of exposures is three. At each exposure, the radiation source should be shifted by an angle of no more than 120° .

According to the ellipse scanning pattern, the control is carried out, as a rule, in two settings, displacing the radiation source by 90° .

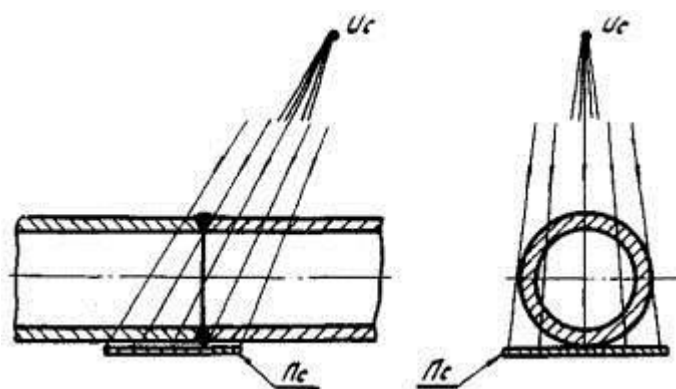


Fig. 7 Scheme of radiographic «ellipse»

As a rule, special surface preparation of the welded joint is not required before radiographic inspection. However, in cases where the surface irregularities of the weld, metal splashes can damage the radiographic film, this surface should be cleaned.

After elimination of defects of the weld, identified by the results of the previous inspection, marking of the welded joint is performed. The weld bead is divided into separate sections; the beginning and the direction of numbering are specified in a specific sequence for each image.

In the monitored areas, sensitivity standards should be set so that each image has a complete image of the standard. With panoramic scanning of ring-shaped welded joints, it is allowed to set sensitivity standards, one for each quarter of the circumference of the welded joint.

To measure the depth of a defect by darkening it in a radiographic image by the method of visual or instrumental comparison with reference grooves or holes, use canal sensitivity standards or simulators. When determining the sensitivity of control, the calculation must be carried out according to the thickness of the pipe wall on which the sensitivity standards are set.

X-ray crawler

X-ray crawler is a self-propelled automatic complex used to control the quality of welded joints of various pipelines. It is a completely independent exhibiting device that does not need a wired connection and is capable of receiving

commands for moving, stopping and taking radiographs from the outside using isotope and magnetic devices.

The principle of operation is based on the conversion of X-rays transmitted through the test object into a digital image. The radiation generated by the X-ray apparatus affects the matrix of a flat panel detector, which consists of a scintillation screen and a silicon photodiode array. Under the influence of X-rays, the scintillation screen starts to glow. The luminous flux enters the silicon photodiode array of the detector, in which the luminous intensity is converted into an electric current, the signal of which is amplified and converted into a digital code. In the detector's electronic circuit, a digital image of the test object is generated and transmitted to the computer of the registration and control unit.

As a construction, an X-ray crawler is a complex that is powered by batteries and consists of separate modules designed to inspect pipes of various diameters. Control of the crawler with the help of external control devices is minimized due to possible pre-setting, allowing the crawler to be adapted to work in any pipeline.

Application in modern devices of microprocessor technology provides the possibility of high performance, reliability and ease of operation with the device. Placing the inside of the pipe allows you to control the circumferential weld for one installation, while using external devices it is necessary to conduct from two and more, for large diameters of pipes, installations of the device. In addition, using a crawler, there is no need to rearrange the X-ray tube on each welding seam, and the quality of the obtained image improves, since only one wall of the tube is visible.

Figure 8 is a schematic drawing of a crawler located inside the pipeline, explaining the principle of its operation.

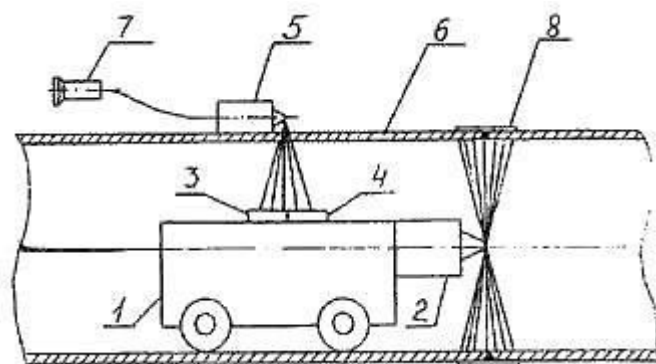


Fig. 8 Scheme of the X-ray crawler:

1 – self-propelled truck; 2 – panoramic unit; 3,4 – ionization counters;
5 – command unit; 6 – pipe; 7 – remote control; 8 – radiation detector

As a receiver of penetrating radiation of the command apparatus, two ionizing counters are used in the crawler. Before the start of the movement of the selfpropelled trolley, the command device switches on with the help of the remote control. Thanks to a special collimator, it has a narrowly directed radiation pattern strictly inside the tube. When a command vehicle emits radiation to detector 3, the crawler slows down its movement, and when detector 4 is triggered, it stops at the position when the radiation focus of the panoramic apparatus is on a line perpendicular to the controlled pipe seam and X-ray film.

Automated orbital motion systems

Technologies with the use of automated orbital displacement systems for monitoring annular welds of pipelines have great potential for development. Such technologies can largely automate the process, which will reduce the time spent on the work. Along with this, introducing X-ray receiver passing through a controlled object, for example, digital radiography methods or receivers that convert radiation into electrical signals, can again significantly speed up the process and achieve more convenient and modern methods of documenting research results.

The main parameters characterizing the performance of such automated orbital systems include the monitoring speed, which depends directly on the speed of movement of the ionizing radiation detector along the diagnosed section of the

pipeline; load capacity and downforce required to hold the carriage detector. This force is provided by the method of fastening the structure to the surface of the pipe.

Already there are such systems of orbital movement of equipment for radiography, built on various principles. The equipment of the «TRANSKAN» company, for example, allows to move the radiator and the radiographic panel along special belts (bondages) covering the pipe in the region of the seam under study.



Fig. 9 Portable complex of digital radiography «TRANSKAN»

Such layout schemes are energy efficient, since they significantly reduce labor and energy costs when installing equipment and allow operating radiation sources in the optimal mode.

The use of a belt creates certain difficulties, since the belts usually have a certain length that corresponds to only one size of the pipe and for full control it is necessary to have a full set of belts.

There is a design of the mechanism of orbital movement, implemented on the so-called magnetic wheels.

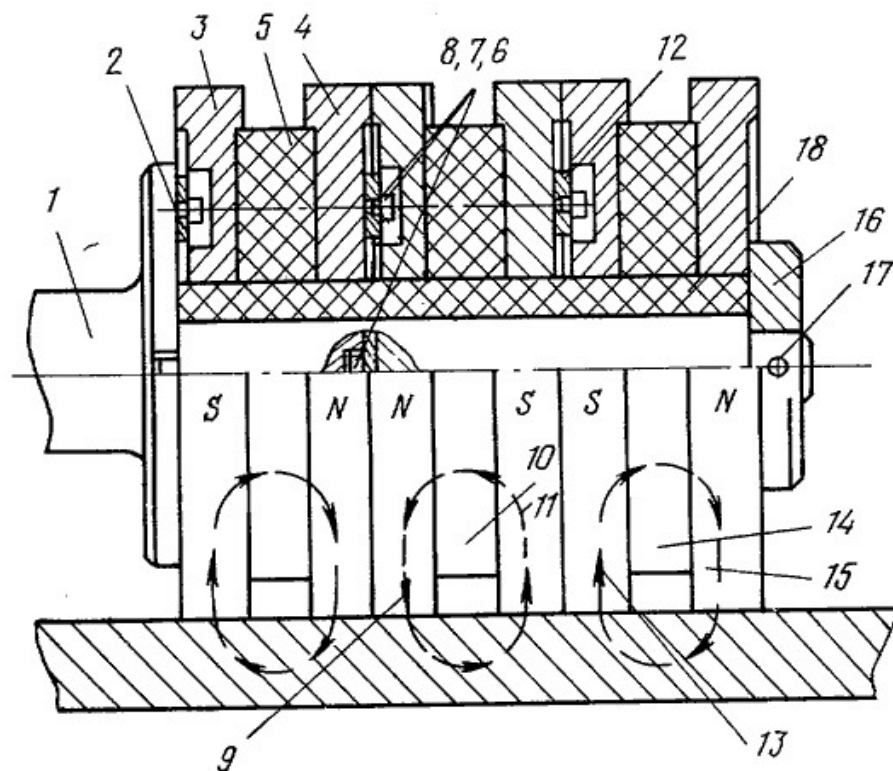


Fig. 10 Drawing of the proposed wheel in the section

The principle of operation of magnetic wheels is as follows: a permanent magnet of an annular shape, axially magnetized, is located between two supporting disks-magnetic circuits. The periphery of the magnet is removed from the supporting surface (pipe), but the magnetic cores rest on it. The magnetic flux of the clutch passes through the body of the magnet and the adjacent magnetic cores. The flow closes in the ferromagnetic material of the pipe and the pander motive force presses the structure to the surface of the pipe.

The design of the wheel allows you to create mechanisms for orbital movement; additional supporting elements (belts, chains, belts) are not needed, since the mechanism rests directly on the pipe. The only limitation is the use of such mechanisms on pipes made of ferromagnetic materials.

A similar scheme was implemented in the mechanism of the orbital movement of the filmless automated radiometric system «BARS» and equipment of the company «JME».



Fig. 11 Filmless automated radiometric system «BARS»

However, such a scheme is used for ultrasonic testing, the equipment, which is distinguished by smaller mass-dimensional characteristics as compared to X-ray emitters.